

FICHE SIGNALÉTIQUE D'UN TRAVAIL D'ÉLÈVE

| AgroParisTech | TRAVAIL D'ÉLÈVE |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| TITRE : Réflexions autour des outils pour tendre vers l'objectif de Zéro Artificialisation Nette dans un but de préservation de la biodiversité | Mots clés : Artificialisation, Densification, Désartificialisation, Fonction des sols, Planification du territoire, Renouvellement urbain, Séquence ERC, Sol, Zéro Artificialisation Nette. |
| AUTRICE : Sonia GUITTONNEAU | Année : 2020 |
| Caractéristiques : 1 volume ; 60 pages ; 11 figures ; 1 annexes ; 0 cartes ; bibliographie | |

CADRE DU TRAVAIL

| | | |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------|
| ORGANISME DE STAGE : CDC Biodiversité | | |
| Nom du responsable : Théo MOUTON | | |
| Fonction : Chargé des publications, Mission Economie de la Biodiversité | | |
| Nom du correspondant APT : Philippe DURAND | | |
| <input type="checkbox"/> 1A <input type="checkbox"/> 2A <input checked="" type="checkbox"/> 3A | <input type="checkbox"/> Stage entreprise <input type="checkbox"/> Stage assistant ingénieur <input checked="" type="checkbox"/> Stage fin d'études Date de remise : 28/10/2020 | <input type="checkbox"/> Autre |

SUITE À DONNER (*à compléter par AgroParisTech*)

| |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <input type="checkbox"/> Consultable et diffusable <input type="checkbox"/> Confidentiel de façon permanente <input type="checkbox"/> Confidentiel jusqu'au/...../..... , puis diffusable |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|

Réflexions autour des outils pour tendre vers l'objectif de Zéro Artificialisation Nette dans un but de préservation de la biodiversité



Mémoire de la dominante d'approfondissement Gestion des Milieux Naturels

Présenté par : Sonia GUITTONNEAU

Stage effectué du 02/03/2020 au 31/08/2020

À : CDC Biodiversité, 102 rue Réaumur, 75002 Paris

Maître de stage : Théo MOUTON

Enseignant référent : Philippe DURAND

Soutenu le : 15/10/2020

Année 2019/2020

*Photos de couverture de gauche à droite et de haut en bas :
Free-Photos de Pixabay, Konevi de Pixabay, Natfot de Pixabay,
Pexels de Pixabay, Gabriele M. Reinhardt de Pixabay, Couleur de Pixabay*

Résumé

Les espaces artificialisés, rassemblant tous les espaces qui ne sont ni naturels, agricoles ou forestiers, résultent de l'artificialisation. Celui-ci constitue une pression majeure sur la biodiversité et impacte directement les fonctions des sols. Due à la croissance démographique et à d'autres facteurs, l'artificialisation continue de croître. Ce constat pousse les acteurs publics à prendre des mesures pour freiner le phénomène d'artificialisation et ainsi préserver la biodiversité. L'objectif de zéro artificialisation nette a ainsi été introduit en France par le plan biodiversité de 2018 avec pour volonté de stopper cette dynamique.

Deux ans plus tard, le sujet est de plus en plus débattu au sein des instances, mais l'objectif de zéro artificialisation nette n'est toujours pas défini dans la loi. Le but de ce mémoire de stage est de discuter des outils qui permettraient l'application et l'atteinte de cet objectif, en s'appuyant sur la bibliographie existante et dix-neuf entretiens avec vingt-trois spécialistes.

À l'exemple de la prise en compte de la biodiversité dans les études d'impact, l'utilisation de la séquence « Éviter, réduire, compenser » semble particulièrement pertinente pour freiner l'artificialisation, d'autant plus que la loi prévoit d'ores et déjà la prise en compte des sols dans les études d'impact. L'évitement consisterait à ne pas artificialiser de nouveaux espaces, en favorisant la réutilisation de l'existant. La réduction serait d'impacter le moins possible les sols, leurs fonctions et la biodiversité. La compensation serait de convertir des espaces artificialisés en espaces non artificialisés.

Après des décennies de construction d'un cadre réglementaire, économique et politique favorable à l'artificialisation, l'application de l'objectif de ZAN se heurte à de nombreux freins qu'il sera nécessaire de surmonter.

Mots clés : Artificialisation, Densification, Désartificialisation, Fonction des sols, Planification du territoire, Renouvellement urbain, Séquence ERC, Sol, Zéro Artificialisation Nette.

Abstract

Artificialized areas, which include non-natural, non-agricultural or non-forested areas are the result of artificialization. This constitutes a major stress on biodiversity and has direct impacts on soil functions. Artificialized areas are still expanding due to population growth and other factors. This observation leads public stakeholders to take measures to curb this phenomenon and thus preserve biodiversity. The French Biodiversity Plan introduced the “zero net artificialization” target (*Objectif de zéro artificialisation nette*) in 2018, with the aim of stopping this dynamic.

Two years later, the authorities are increasingly debating the subject, but the “zero net artificialization” target is still not defined by law. This internship report's purpose is to discuss the tools that would allow the application and achievement of this target, based on the existing bibliography and nineteen interviews with twenty-three specialists.

Following the example of the integration of biodiversity in impact assessments, the use of the mitigation hierarchy seems particularly relevant to curb artificialization, especially since the law already accounts for soils in impact assessments. Avoidance would consist in not artificializing new areas, favouring the reuse of existing ones. The reduction aspect would be to leave the least possible impact on soils, their functions and biodiversity, and the offsetting to convert artificial areas into non-artificial areas.

After decades of constructing a regulatory, economic and political framework favourable to artificialization, the application of the “zero net artificialization” target faces many obstacles that will have to be overcome.

Key words: Artificialization, Densification, Desartificialization, Mitigation hierarchy, Soil, Soil functions, Territory planning, Urban renewal, Zero net artificialization target.

Engagement de non-plagiat

❶ Principes :

- Le plagiat se définit comme l'action d'un individu qui présente comme sien ce qu'il a pris à autrui.
- Le plagiat de tout ou parties de documents existants constitue une violation des droits d'auteur ainsi qu'une fraude caractérisée
- Le plagiat concerne entre autres : des phrases, une partie d'un document, des données, des tableaux, des graphiques, des images et illustrations.
- Le plagiat se situe plus particulièrement à deux niveaux : Ne pas citer la provenance du texte que l'on utilise, ce qui revient à le faire passer pour sien de manière passive. Recopier quasi intégralement un texte ou une partie de texte, sans véritable contribution personnelle, même si la source est citée.

❷ Consignes :

- Il est rappelé que la rédaction fait partie du travail de création d'un rapport ou d'un mémoire, en conséquence lorsque l'auteur s'appuie sur un document existant, il ne doit pas recopier les parties l'intéressant mais il doit les synthétiser, les rédiger à sa façon dans son propre texte.
- Vous devez systématiquement et correctement citer les sources des textes, parties de textes, images et autres informations reprises sur d'autres documents, trouvés sur quelque support que ce soit, papier ou numérique en particulier sur internet.
- Vous êtes autorisés à reprendre d'un autre document de très courts passages *in extenso*, mais à la stricte condition de les faire figurer entièrement entre guillemets et bien sûr d'en citer la source.

❸ Sanction :

- En cas de manquement à ces consignes, la direction des études et de la pédagogie ou le correcteur se réservent le droit d'exiger la réécriture du document sans préjuger d'éventuelles sanctions disciplinaires.

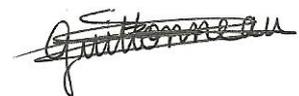
❹ Engagement :

Je soussignée Sonia GUITTONNEAU

Reconnais avoir lu et m'engage à respecter l'engagement de non-plagiat

À Mouthiers sur Boëme le 24/09/2020

Signature :



Remerciements

Je souhaite remercier toutes les personnes qui ont fait de mon stage une expérience enrichissante et qui m'ont permis de travailler sur ce sujet aux problématiques variées, m'incitant sans cesse à apprendre de nouvelles choses.

Je tiens tout d'abord à remercier Théo Mouton, mon tuteur de stage, pour son encadrement et la confiance qu'il m'a accordée dans la réalisation de mes missions de stage. Sa bonne humeur a rendu mon stage agréable.

Je remercie mon enseignant référent à AgroParisTech, Philippe Durand, pour m'avoir suivie et conseillée durant le stage.

Je remercie aussi Sophie Ménard pour son deuxième encadrement et pour avoir partagé ses points de vue toujours pertinents sur le sujet de stage.

Je remercie Antoine Cadi, directeur de la recherche et de l'innovation à CDC Biodiversité pour m'avoir permis de réaliser ce stage au sein de l'équipe.

Je remercie aussi Philippe Thiévent, directeur de CDC Biodiversité et Marc Abadie, président de CDC Biodiversité pour m'avoir offert la possibilité de vivre cette expérience professionnelle.

Plus globalement, j'adresse de grands mercis à toute l'équipe de CDC Biodiversité, pour leur bienveillance à mon égard. Ils et elles m'ont fait découvrir les différents métiers de l'organisme, et j'ai eu avec elles et eux de nombreuses discussions sur des sujets intéressants. Merci à Magali, Charlotte, Axelle, Suzanne, Morgane et Coline pour leur bonne humeur au bureau.

Merci à tous les interlocuteurs avec qui j'ai pu échanger durant mon stage : Jules Boileau, de TerrOiko, pour avoir pris du temps pour m'expliquer certains de mes questionnements ; Thierry Mougey, de la Fédération des Parcs naturels régionaux de France ; et toutes les personnes que j'ai pu rencontrer lors des entretiens et qui m'ont apporté beaucoup de connaissances.

Je remercie mes ami·e·s : Julie, pour m'avoir soutenue pendant le stage et Swann et Benjamin pour leurs relectures. Merci également à Lana pour ses conseils de rédaction.

Table des matières

| | |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------|
| Introduction | 6 |
| 1. L'artificialisation, un phénomène difficile à caractériser dont les impacts sur le vivant sont réels | 8 |
| 1.1. L'artificialisation en France : de quoi parle-t-on ? | 8 |
| 1.1.1. Débats autour de la définition de l'artificialisation | 8 |
| 1.1.2. Les méthodes pour mesurer l'artificialisation | 10 |
| 1.1.3. Caractérisation des espaces artificialisés | 10 |
| 1.2. L'artificialisation, un phénomène aux nombreux impacts | 12 |
| 1.2.1. Les impacts de l'artificialisation sur les propriétés des sols | 12 |
| 1.2.2. Les impacts de l'artificialisation sur les fonctions des sols..... | 13 |
| 1.2.3. Les impacts de l'artificialisation sur les écosystèmes | 14 |
| 1.2.4. Les impacts de l'artificialisation sur l'être humain..... | 15 |
| 1.3. L'artificialisation, une des menaces principales sur la biodiversité | 15 |
| 2. Proposition de mesures pour éviter, réduire et compenser l'artificialisation et atteindre l'objectif de zéro artificialisation nette | 17 |
| 2.1. Réflexions sur la convergence entre zéro artificialisation nette et la séquence ERC | 17 |
| 2.1.1. Constat sur la place des sols dans l'application actuelle de la séquence ERC | 17 |
| 2.1.2. La démarche à appliquer pour éviter, réduire et compenser l'artificialisation | 18 |
| 2.2. Éviter l'artificialisation : propositions de mesures pour arrêter l'utilisation des sols .. | 21 |
| 2.2.1. Évaluer l'utilité du projet pour envisager l'abandon du projet | 21 |
| 2.2.2. Tendre vers une densification vivable..... | 21 |
| 2.2.3. La réutilisation du bâti | 22 |
| 2.2.4. La réutilisation du foncier déjà artificialisé | 23 |
| 2.3. Réduire l'artificialisation : une étape indispensable pour diminuer les impacts de l'artificialisation | 25 |
| 2.3.1. Réduire les impacts de l'artificialisation sur les sols | 25 |
| 2.3.2. Réduire les impacts de l'artificialisation sur les écosystèmes..... | 26 |
| 2.3.3. Réduire les impacts de l'artificialisation sur les fonctions des sols | 26 |
| 2.3.4. Anticiper l'usage futur d'un bâtiment | 27 |
| 2.4. Compenser l'artificialisation : équilibrer les surfaces artificialisées avec la désartificialisation | 28 |
| 2.4.1. Les éléments à prendre en compte pour compenser l'artificialisation | 28 |
| 2.4.2. La déconstruction, une première étape vers la désartificialisation | 31 |
| 2.4.3. La désimperméabilisation, pour reconnecter le sol avec l'atmosphère et les eaux pluviales | 31 |
| 2.4.4. La dépollution des sols pour supprimer la toxicité envers l'environnement | 32 |
| 2.4.5. La reconstitution ou construction d'un sol pour recréer un sol fonctionnel | 33 |
| 2.4.6. La renaturation, dernière étape de la désartificialisation pour permettre l'installation de la végétation..... | 34 |
| 2.5. Les leviers à mobiliser pour aider la réalisation de l'évitement, réduction et compensation de l'artificialisation | 36 |
| 2.5.1. La planification du territoire pour anticiper les changements de territoire et les impacts sur la biodiversité..... | 36 |
| 2.5.2. Les rôles des différents acteurs dans l'atteinte de zéro artificialisation nette | 38 |

| | | |
|-------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------|
| 3. | <i>Discussions autour de l'atteinte de l'objectif de zéro artificialisation nette.....</i> | 40 |
| 3.1. | Discussions sur la réelle participation des mesures pour lutter contre l'artificialisation à la préservation de la biodiversité | 40 |
| 3.1.1. | Les limites écologiques de l'évitement et de la réduction..... | 40 |
| 3.1.2. | Les limites écologiques de la désartificialisation | 41 |
| 3.2. | Discussions sur la pertinence de l'application de la séquence ERC à l'artificialisation | 41 |
| 3.2.1. | Les problèmes actuels à l'application de la séquence ERC | 41 |
| 3.2.2. | Les problèmes engendrés par l'application de la séquence ERC à l'artificialisation | 43 |
| 3.3. | Discussions sur l'acceptabilité des différents acteurs..... | 44 |
| 3.3.1. | L'acceptabilité des acteurs pour l'application de la séquence ERC à l'artificialisation..... | 44 |
| 3.3.2. | L'acceptabilité des acteurs pour la nécessité de lutter contre l'artificialisation | 45 |
| 3.4. | Discussions sur la définition de l'objectif de zéro artificialisation nette..... | 46 |
| 3.4.1. | La nécessité de définir l'horizon temporel de l'atteinte de zéro artificialisation nette | 46 |
| 3.4.2. | Le choix de l'échelle territoriale d'application de l'objectif de zéro artificialisation nette | 47 |
| 3.5. | Limites et discussions sur les méthodes employées dans le cadre de ce mémoire..... | 47 |
| | <i>Conclusion</i> | 49 |
| | <i>Références bibliographiques</i> | 50 |

Liste des annexes

| | |
|------------------------------------------------------|-----------|
| <i>Annexe 1 : Liste des entretiens réalisés.....</i> | <i>54</i> |
|------------------------------------------------------|-----------|

Liste des figures

| | |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------|
| <i>Figure 1 : Exemple d'espaces non artificialisés ou artificialisés selon la définition actuelle.....</i> | <i>8</i> |
| <i>Figure 2 : Répartition de la consommation annuelle d'espaces naturels, agricoles et forestiers.</i> | <i>11</i> |
| <i>Figure 3 : Illustration des fonctions des sols et des impacts de l'artificialisation sur les fonctions des sols</i> | <i>14</i> |
| <i>Figure 4 : Participation de chaque pression à l'impact global sur la biodiversité.....</i> | <i>16</i> |
| <i>Figure 5 : Démarche proposée pour atteindre le ZAN en appliquant les mesures pour éviter, réduire et compenser l'artificialisation à l'échelle du projet, en prenant l'exemple de la construction d'un logement</i> | <i>18</i> |
| <i>Figure 6 : Atteinte de l'objectif de ZAN à l'échelle d'un territoire.....</i> | <i>19</i> |
| <i>Figure 7 : Comparaison entre la densité de construction et le coefficient d'emprise au sol (CES).....</i> | <i>25</i> |
| <i>Figure 8 : Arbre de décision pour choisir les étapes à mener pour aboutir à la désartificialisation</i> | <i>30</i> |
| <i>Figure 9 : Rôles de chaque acteur dans la réalisation de l'objectif de ZAN</i> | <i>39</i> |
| <i>Figure 10 : Part de la biodiversité prise en compte par la séquence ERC.</i> | <i>42</i> |
| <i>Figure 11 : Importance de la référence choisie dans le calcul des objectifs de réduction de surface artificialisée</i> | <i>46</i> |

Liste des tableaux

| | |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------|
| <i>Tableau 1 : Résumé des mesures proposées pour éviter (E), réduire (R) et compenser (C) l'artificialisation</i> | <i>20</i> |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------|

Index alphabétique des sigles

ADEME : Agence de l'environnement et de la maîtrise de l'énergie
Ae : Autorité environnementale
BIMBY : Build in My Back Yard
CBD : Convention on Biological Diversity (Convention sur la diversité biologique)
CBS : Coefficient de biotope par surface
Cerema : Centre d'études et d'expertise sur les risques, l'environnement, la mobilité et l'aménagement
CES : Coefficient d'emprise au sol
CGDD : Commissariat général au développement durable
DOO : Document d'orientation et d'objectifs
DREAL : Direction régionale de l'environnement, de l'aménagement et du logement
EEE : Espèces exotiques envahissantes
ENAF : Espaces naturels, agricoles et forestiers
ERC : Éviter – Réduire – Compenser
GT : Groupe de travail
IDDRI : Institut du Développement Durable et des Relations Internationales
IPBES : Intergovernmental Science-Policy Platform on Biodiversity and Ecosystem Services
IPCE : Installation classée pour la protection de l'environnement
IRSN : Institut de radioprotection et de sûreté nucléaire
LIFTI : Laboratoire d'Initiatives Foncières et Territoriales Innovantes
MCTRCT : Ministère de la Cohésion des Territoires et des Relations avec les Collectivités Territoriales
MEB : Mission Économie de la Biodiversité
MRAe : Mission régionale d'autorité environnementale
MTES : Ministère de la Transition écologique et solidaire
OAP : Orientations d'aménagement et de programmation
OENAF : Observatoire des espaces naturels, agricoles et forestiers
PADD : Projet d'aménagement et de développement durables
PLU : Plan local d'urbanisme
PLUi : Plan local d'urbanisme intercommunal
SCoT : Schéma de cohérence territoriale
SIS : Secteur d'information sur les sols
SRADDET : Schéma régional d'aménagement, de développement durable et d'égalité des territoires
TVB : Trame verte et bleue
ZAN : Zéro Artificialisation Nette

Introduction

En 2019, l'Évaluation mondiale de la biodiversité et des services écosystémiques de l'IPBES est venue consolider les travaux scientifiques mettant en évidence la dynamique d'effondrement de la biodiversité. Si les activités humaines ont déjà mené à l'extinction de certaines espèces, le rythme d'extinction s'accélère. Il est d'ores et déjà plus soutenu que la moyenne des 10 derniers millions d'années (IPBES, 2019).

En France, la question de la biodiversité prend une importance croissante dans les politiques publiques. Le plan biodiversité, publié en juillet 2018, propose ainsi 90 actions visant « à renforcer l'action pour la préservation de la biodiversité et à mobiliser des leviers pour la restaurer et la reconquérir ». Parmi les enjeux phares, le plan biodiversité prône un objectif de zéro artificialisation nette (ZAN). Celui-ci s'inscrit dans une volonté de stopper la consommation d'espaces naturels, agricoles et forestiers (ENAF), afin de ne pas détruire ou fragmenter les espaces de biodiversité (MTES, 2018).

À l'échelle européenne, la stratégie de l'Union européenne en faveur de la biodiversité à l'horizon 2030 affiche une volonté de « contrôler l'artificialisation et de restaurer les écosystèmes des sols » (Commission européenne, 2020), reconnaissant par la même occasion le sol comme un écosystème à part entière et mettant l'accent sur sa préservation.

Au regard de ces réflexions nationales et européennes, les débats sur l'artificialisation¹ prennent une importance conséquente, à travers la mise en place de groupes de travail ministériels (GT) en lien avec l'objectif de ZAN (GT artificialisation et GT friches, agrégés en GT foncier), l'instruction du gouvernement du 29 juillet 2019 relative à l'engagement de l'État en faveur d'une gestion économe de l'espace, ou encore la circulaire du 24 août 2020 sur le rôle des préfets en matière d'aménagement commercial dans le cadre de la lutte contre l'artificialisation. En parallèle, les travaux de la Convention Citoyenne pour le Climat ont révélé la préoccupation grandissante des citoyens envers le rythme d'artificialisation des sols. Des travaux faisant l'état des lieux des réflexions sur l'artificialisation ont aussi vu le jour, comme le rapport de l'expertise scientifique collective en 2017 (Béchet *et al.*, 2017), et le rapport élaboré par France Stratégie en 2019 (Fosse *et al.*, 2019). L'Observatoire de l'artificialisation des sols a de même été créé, en 2019, porté par le Cerema, l'IGN et l'IRSTEA, sous le pilotage des ministères de la Transition écologique et solidaire, de l'Agriculture et de l'Alimentation, et de la Cohésion des territoires et des relations avec les collectivités territoriales.

CDC Biodiversité, en tant qu'acteur spécialisé sur les questions de biodiversité, a la volonté de se positionner sur le sujet de l'artificialisation. Filiale de la Caisse des Dépôts et créée en 2008, CDC Biodiversité développe des solutions innovantes pour concilier économie et biodiversité. Bien que son métier historique soit d'intervenir dans le domaine de la compensation (en tant qu'opérateur de compensation), elle développe aujourd'hui un large panel de solutions focalisées sur la biodiversité en ville, l'action volontaire des entreprises (via le programme Nature 2050), la mesure d'empreinte biodiversité des entreprises (via le Global Biodiversity Score) ou encore la transition agroécologique.

Au sein de la Direction de la Recherche et de l'Innovation, la Mission Économie de la Biodiversité (MEB), dans laquelle ce stage a été réalisé, a pour objectif de concilier les activités de recherche autour de la préservation de la biodiversité et les besoins des acteurs économiques. La MEB élabore des publications autour de 3 thématiques principales : outils économiques au service de la biodiversité ; biodiversité et économie des territoires ; biodiversité et entreprises.

¹ Le terme d'artificialisation sera expliqué dans la partie 1.1.1.

Dans ce cadre-là, la mission du stage était de mener des réflexions afin de proposer des mesures pour permettre l'atteinte de l'objectif de ZAN dans un but de préservation de la biodiversité ; ces réflexions serviront par la suite à l'élaboration d'une publication de la MEB, qui devrait paraître fin 2020.

Afin de mener à bien cette mission, un travail de bibliographie a été réalisé pour rassembler les différents travaux existant actuellement sur le sujet du ZAN. Dix-neuf entretiens ont été réalisés avec vingt-trois acteurs concernés par la problématique de l'artificialisation. La liste des personnes rencontrées se trouve en Annexe 1. Ces entretiens avaient pour but de recueillir des informations sur les différents aspects du ZAN et de comprendre les perceptions des différents acteurs. À cette fin, les acteurs rencontrés font partie d'organismes variés et ont des compétences diverses, par exemple en pédologie, en génie écologique, en urbanisme.

Ce mémoire de stage a pour but de synthétiser les informations collectées sur le sujet, afin d'enrichir les réflexions autour des questions suivantes : quels sont les outils à mobiliser pour appliquer et atteindre l'objectif de ZAN dans un but de préservation de la biodiversité, et quels sont les leviers à mobiliser pour favoriser l'atteinte de ZAN ?

Dans un premier temps, nous tenterons de caractériser le phénomène d'artificialisation et nous aborderons les raisons qui mènent à penser que ZAN est un objectif qui permettrait de préserver la biodiversité. À l'instar de la prise en compte de la biodiversité dans les études d'impact, la séquence « éviter, réduire, compenser » (ERC)² semble particulièrement pertinente à être utilisée pour freiner l'artificialisation. Nous proposerons ainsi dans un second temps des mesures pour atteindre le ZAN à travers une logique d'évitement, de réduction et de compensation des impacts de l'artificialisation sur les sols. Par la même occasion, nous développerons quelques leviers qui aideraient la mise en place de ZAN. Cette méthode proposée consistant à éviter, réduire et compenser les impacts de l'artificialisation peut toutefois être discutée en termes de réelle prise en compte de la biodiversité, de possibilité de réalisation des mesures et d'acceptabilité des mesures, ce que nous aborderons dans une troisième partie.

² La séquence ERC sera introduite dans la partie 2.1.1.

1. L'artificialisation, un phénomène difficile à caractériser dont les impacts sur le vivant sont réels

1.1. L'artificialisation en France : de quoi parle-t-on ?

1.1.1. Débats autour de la définition de l'artificialisation

L'artificialisation est définie par l'Observatoire des espaces naturels, agricoles et forestiers (OENAF), comme étant un « *changement d'état effectif d'une surface agricole, forestière ou naturelle vers des surfaces artificialisées, c'est-à-dire les tissus urbains, les zones industrielles et commerciales, les infrastructures de transport et leurs dépendances, les mines et carrières à ciel ouvert, les décharges et chantiers, les espaces verts urbains (espaces végétalisés inclus dans le tissu urbain), et les équipements sportifs et de loisirs y compris des golfs. Les espaces qui subissent une artificialisation ne sont plus disponibles pour des usages tels que l'agriculture, la foresterie ou comme habitats naturels* ». Plus simplement, les espaces artificialisés sont définis par la négative : sont artificialisés tous les espaces qui ne sont ni agricoles, ni forestiers, ni naturels.

Le terme « artificialisation » a originellement été introduit par les agronomes, dans l'objectif de préserver prioritairement les terres agricoles de l'étalement urbain (Béchet *et al.*, 2017). Sa vocation était par conséquent purement liée à la protection du potentiel agricole français. Les réflexions visant à lutter contre l'artificialisation pour préserver la biodiversité sont plus récentes et se retrouvent dans le plan biodiversité interministériel de juillet 2018, dans lequel l'objectif de ZAN est inscrit. Celui-ci fait état de la nécessité de limiter la consommation d'ENAF pour préserver la diversité biologique.

La FIGURE 1 présente des exemples d'espaces considérés comme artificialisés ou non artificialisés selon la définition actuelle de l'artificialisation.

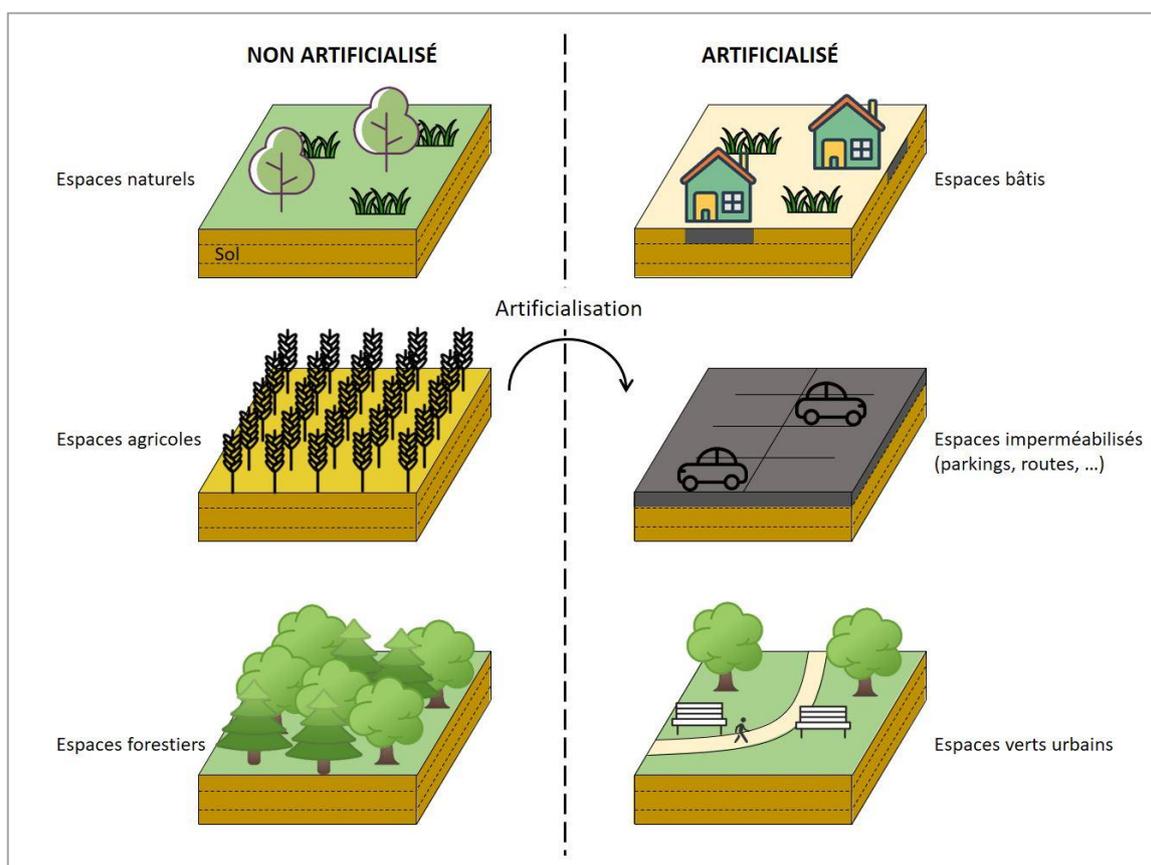


Figure 1 : Exemple d'espaces non artificialisés ou artificialisés selon la définition actuelle

Cependant, cette définition ne prend pas en compte l'état de la biodiversité pour caractériser si un espace est artificialisé ou non. Par exemple les monocultures intensives peuvent avoir une biodiversité moins riche qu'un parc urbain ; le premier est pourtant considéré comme espace non artificialisé et le deuxième comme espace artificialisé.

La notion d'artificialisation est globalement perçue de différente manière en fonction de la spécialité de la personne qui l'interprète :

- Pour les **agronomes**, leur priorité est la protection des espaces agricoles qui sont souvent utilisés à des fins de construction, puisque les sols sont indispensables pour les pratiques agricoles. Pour eux, la notion d'artificialisation doit faire la différence entre les espaces agricoles ou les espaces naturels avec les espaces utilisés par l'être humain. Il s'agit de la définition actuellement utilisée, qui met en opposition les ENAF avec les espaces artificialisés.
- Pour les **urbanistes**, leur volonté est de maîtriser l'extension de la tâche urbaine et de limiter l'étalement urbain³. Leur vision de l'artificialisation est par exemple orientée imperméabilisation des sols, afin de pouvoir gérer la problématique de l'eau en ville qui ruissèle sans s'infiltrer dans les sols.
- Pour les **spécialistes de la biodiversité**, l'artificialisation est vue comme une atteinte à la biodiversité et aux fonctionnalités des sols. Leur volonté est donc de définir l'artificialisation avec des critères qui prennent en compte les impacts sur les fonctions des sols.

Une définition consensuelle de l'artificialisation est difficile à donner dès lors que les intérêts des acteurs concernés par la problématique sont divergents. Cependant, il est nécessaire de fixer une définition à l'artificialisation, puisqu'une définition permettrait de faire la différence entre espaces artificialisés et non artificialisés, indispensable pour réaliser la mesure du phénomène.

L'intégration de l'objectif de ZAN pour protéger la biodiversité justifie donc une redéfinition et une réinterprétation de l'artificialisation, pour prendre en compte ces enjeux spécifiques. Le MTES s'y attelle actuellement à travers le GT foncier, et notamment via une proposition de définition pour :

- Concilier les intérêts de chacun pour être acceptée par tous les acteurs ;
- Être suffisamment explicite et compréhensible pour classer sans doute un espace en artificialisé ou non ;
- Permettre une mesure facile du phénomène de l'artificialisation à l'échelle nationale.

Pour prendre un point de vue écologique, une ou plusieurs des propositions suivantes pourraient être retenues dans la définition de l'artificialisation :

- Un espace artificialisé est un espace sur lequel le sol a **perdu sa capacité à réaliser une ou plusieurs de ses fonctions**. De cette manière, toutes les fonctions des sols pourraient être prises en compte dans la définition d'un sol artificialisé, sans avoir à mettre l'accent sur telle ou telle fonction de manière orientée. Toutefois, la problématique est de préciser quelles sont les fonctions des sols dans la définition et de quelle manière il est possible de mesurer la réalisation des fonctions.
- Un **sol imperméabilisé** est un sol artificialisé. Cette notion d'imperméabilisation réduit cependant les sols à leur seule fonction de régulation de l'eau ; il s'agit d'un point de vue anthropocentré dans lequel la lutte contre l'artificialisation se ferait uniquement dans un but de régulation des eaux en ville. La mesure de l'imperméabilisation des sols est toutefois réalisable par télédétection, comme le montre l'exemple réalisé sur Bordeaux Métropole (Agence d'Urbanisme Bordeaux Métropole Aquitaine, 2015).

³ On parle d'étalement urbain quand « *le taux d'occupation des terres et la consommation de celles-ci à des fins d'urbanisation sont plus rapides que la croissance de la population sur une période de temps déterminée* » (IAU, 2016).

- Un sol qui a perdu son **couvert végétal** est un sol artificialisé. Encore une fois, ce critère réduit les sols à une unique fonction de support de végétation et exclut les autres fonctions.
- Un aménagement qui rompt les **continuités écologiques** est considéré comme artificialisé (Fosse, 2020). Par exemple, dans le cas d'un lotissement avec jardin, on pourrait considérer que les jardins ne sont pas artificialisés, puisque capables de réaliser les fonctions des sols ; toutefois les barrières et murets peuvent rompre les continuités écologiques pour certaines espèces. Ce phénomène peut cependant être difficile à mesurer.
- La définition de l'artificialisation doit également se positionner sur la question de la **durabilité** des impacts. Un aménagement impactant les sols, mais étant temporaire, telles les carrières qui ont l'obligation de remise en état du terrain après exploitation, doit-il être considéré comme artificialisé ?

Bien qu'aucune proposition de définition ne fasse actuellement consensus, pour mener à bien les réflexions de la suite de ce mémoire, nous nous focaliserons sur la prise en compte des sols, de leurs fonctions et des écosystèmes, pour proposer des outils permettant l'atteinte de ZAN.

1.1.2. Les méthodes pour mesurer l'artificialisation

En l'absence de définition consensuelle qui prend en compte la biodiversité, les méthodes pour mesurer l'artificialisation se basent sur la définition actuelle, différenciant les ENAF des espaces artificialisés.

Plusieurs méthodes sont utilisées pour mesurer l'artificialisation en France, dont la méthode Teruti-Lucas, les méthodes exploitant les fichiers fonciers et les données Corine Land Cover. Ces méthodes n'ont pas été créées pour mesurer l'artificialisation, mais l'utilisation de leur base de données permet d'approcher le calcul. Ces bases de données ne permettant pas de faire des distinctions fines entre certaines catégories d'espaces, des divergences existent dans la manière d'appréhender les espaces. De cette manière, les chiffres avancés pour caractériser l'artificialisation varient en fonction des méthodes utilisées, ajoutant une complexité supplémentaire à un concept déjà fortement débattu.

La base de données des fichiers fonciers est élaborée par le Cerema en se basant sur les déclarations fiscales des propriétaires, liées aux impôts fonciers. Elle est produite tous les ans depuis 2009, avec une résolution spatiale au niveau de la parcelle cadastrale. Les fichiers fonciers ne recouvrent pas les espaces non cadastrés. La nomenclature des catégories d'espaces permet de faire la distinction entre ENAF et espaces artificialisés (République française, 2020a).

Les données Teruti-Lucas mesure l'occupation et l'usage des sols. La donnée est acquise sur un échantillonnage de points représentatifs puis par extrapolation des résultats. La donnée est renouvelée tous les ans, en revanche des changements de protocole ne permettent pas la comparaison des données entre séries issus de protocoles différents. La nomenclature permet de faire la différence entre les ENAF et les espaces artificialisés (République française, 2020b), bien que l'extrapolation des données recueillies ne permettent pas d'avoir une mesure précise de l'artificialisation.

Corine Land Cover est une base de données européenne présentant l'occupation des sols. La donnée est produite par interprétation d'images satellitaires, les zones définies font au minimum 25 ha et les évolutions d'occupation des sols se mesurent sur au moins 5 ha. Corine Land Cover couvre la France métropolitaine depuis l'année 2000, la donnée est acquise tous les 6 ans environ (République française, 2020c). La grande résolution spatiale de la donnée ne permet cependant pas de capter les variations locales, comme le mitage.

1.1.3. Caractérisation des espaces artificialisés

Si des différences structurelles existent entre les méthodes et que les chiffres de la consommation d'ENAF varient, ils n'en restent pas moins préoccupants. En France métropolitaine, la consommation d'ENAF était de 23 295 ha entre le 1^{er} janvier 2017 et le 1^{er} janvier 2018, d'après les données des fichiers

fonciers (Cerema, 2020) (cf. FIGURE 2). Ce chiffre varie de 16 000 à 61 200 ha par an selon les différentes méthodes de calcul (Fosse *et al.*, 2019).

Si la période 2011-2016 montrait une diminution de l'artificialisation de 31 % causée principalement par la baisse de la construction (Cerema, 2019), la tendance repart à la hausse sur la période 2016-2018 (Cerema, 2020). Cette augmentation est principalement due au développement de l'habitat (70 %), de l'activité économiques (24 %) et des usages mixtes (2 %) (Cerema, 2020).

En France métropolitaine, on estime ainsi que 9,58 % de la surface du territoire était artificialisée en 2014, selon les données des fichiers fonciers (Kraszewski, 2019). Les données de l'enquête Teruti-Lucas de 2015 estiment que les surfaces artificialisées se répartissent entre l'habitat (41,9 %), les infrastructures de transport (27,8 %), les infrastructures de services et de loisirs (16,2 %) et enfin les infrastructures industrielles et agroforestières (13,7 %) (Fosse *et al.*, 2019) (cf. FIGURE 2). Les espaces nouvellement artificialisés se situent surtout autour des agglomérations, ou à proximité des littoraux atlantique et méditerranéen (Cerema, 2019). Les terres agricoles qui se situent à proximité des agglomérations sont donc les premières terres affectées (Cerema, 2019). Les données Teruti-Lucas montrent que les terres agricoles représentaient les deux tiers des terres artificialisées entre 2006 et 2014 (Béchet *et al.*, 2017).

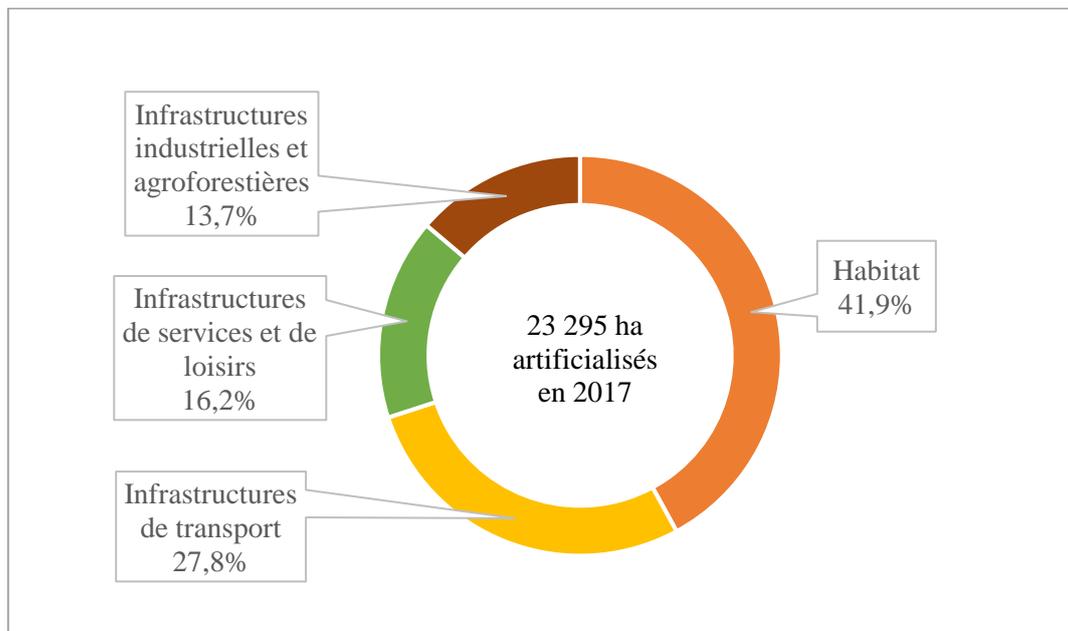


Figure 2 : Répartition de la consommation annuelle d'espaces naturels, agricoles et forestiers.

Le chiffre au centre correspond au total de l'artificialisation sur la période 2017-2018 (Source : Fichiers fonciers). Les chiffres sur les étiquettes correspondent à la répartition de l'artificialisation en catégories en 2015 (Source : Teruti-Lucas).

Si l'artificialisation s'explique principalement par la croissance de la population, ce n'est pas le seul facteur. En effet, l'artificialisation augmente plus rapidement que la croissance de la population (Fosse *et al.*, 2019). C'est le cas de la Provence-Alpes-Côte d'Azur, entre 2011 et 2015, où la consommation foncière a augmenté deux fois plus que la démographie (Insee, 2016b). La baisse de la taille des ménages, l'augmentation de la vacance des logements et la construction de résidences secondaires ou occasionnelles sont d'autres facteurs explicatifs (Fosse *et al.*, 2019). L'attrait des ménages pour l'habitation individuelle et la hausse du niveau de vie impliquent aussi une hausse de la surface habitable moyenne par personne (Fosse *et al.*, 2019).

De plus, le phénomène d'artificialisation est hétérogène : 20 % des communes sont responsables de 81,7 % de la consommation d'espaces (Cerema, 2019).

1.2. L'artificialisation, un phénomène aux nombreux impacts

L'artificialisation, en consommant des ENAF, provoque des impacts négatifs sur les sols, leurs fonctions et la biodiversité. Au regard de la diminution des services écosystémiques causée par la perte de biodiversité, l'être humain est directement touché par le phénomène.

1.2.1. Les impacts de l'artificialisation sur les propriétés des sols

Aubert et Boulaïne (1967) définissent le sol comme étant « *le produit de l'altération, du remaniement et de l'organisation des couches supérieures de la croûte terrestre sous l'action de la vie, de l'atmosphère et des échanges d'énergie qui s'y manifestent* ». Les sols sont des entités complexes résultant du processus naturel de la pédogénèse, qui dépend de divers facteurs comme la roche mère, le climat, le temps, les agents biotiques et la topographie. Chaque sol est unique car lié aux spécificités des processus qui l'ont créé. La pédogénèse se faisant sur des temps très long, les sols naturels ne sont pas renouvelables à l'échelle d'une vie humaine. Par conséquent, il est possible de considérer que la ressource en sol est finie et que ceux-ci doivent être préservés en termes de surface.

Il est également de plus en plus reconnu que les sols font partie intégrante de la biodiversité. Cette approche s'oppose à la vision commune des sols, uniquement perçus comme une couche superficielle servant de support de biodiversité, et non comme un pan des écosystèmes à part entière (Marié, 2020).

Le premier type d'impact dû à l'artificialisation que peuvent subir les sols sont ceux qui mènent directement à une perte de sol. En vue de la stabilisation d'un terrain pour une construction d'un bâtiment, le **décassement ou décapage des horizons superficiels** est souvent réalisé. Les couches superficielles de terres sont enlevées et souvent exportées. Dans ce cas-là, il y a une réelle perte de sol sur le site.

Les autres types d'impacts correspondent à ceux qui perturbent physiquement et chimiquement les sols. La **compaction des sols**, dû au passage d'engins lourds, provoque du tassement, qui va supprimer la porosité des sols, pourtant indispensable au développement des espèces. L'**imperméabilisation** a aussi des conséquences sur les propriétés physiques et chimiques des sols. Rendre un sol imperméable, par pose d'un revêtement quelconque, isole le sol de l'atmosphère et les échanges gazeux et hydriques ne peuvent plus se réaliser. Il est estimé que 60 à 70 % des sols artificialisés sont imperméabilisés (Béchet *et al.*, 2019). Les **pollutions**, issues du ruissellement des eaux sur les surfaces imperméabilisées se chargeant en polluants ou issues d'autres sources, affectent les organismes vivant sur le sol ou dans le sol. L'**apport de matériaux extérieurs** peut provoquer une modification de la composition du sol. Baize et Girard (2009) distinguent 4 origines de matériaux anthropiques : terre, sous-produits industriels, artisanaux ou miniers, matières végétales, et matériaux archéologiques (p. ex. accumulation d'outils en silex).

Enfin, les sols peuvent subir des impacts par des activités qui ne sont pas considérées actuellement comme artificialisantes. En cas de changement de définition de l'artificialisation, il est tout de même intéressant de porter une attention sur les points suivants. Le **drainage**, par création de drains, souvent en agriculture ou en sylviculture, permet l'évacuation de l'eau des sols et provoque un assèchement des sols. Certaines pratiques, comme le labour en agriculture, peuvent **mélanger ou retourner les horizons des sols** et ainsi affecter la structure des premiers centimètres des sols (Baize et Girard, 2009).

1.2.2. Les impacts de l'artificialisation sur les fonctions des sols

En ayant des impacts importants sur les sols, l'artificialisation entrave ses fonctions. Celles-ci sont créées par les organismes présents dans les sols, qui assurent la dégradation de la matière organique, la création de porosité pour permettre la circulation de l'eau, l'installation des systèmes racinaires, etc. (Ranjard, 2020).

Les sols sont des **réservoirs de biodiversité**. Les sols sont un habitat pour la pédofaune. 25 % des espèces décrites de vertébrés et d'invertébrés vivent strictement dans les sols ou dans la litière, majoritairement des insectes et des arachnides (Decaëns *et al.*, 2006). Sont aussi présents des annélides, des nématodes, d'autres arthropodes, des bactéries, etc. Certaines espèces créent la porosité dans les sols, comme les vers, permettant l'aération du sol et la réalisation des fonctions des sols. D'après Béchet *et al.* (2019), dans la plupart des études, l'artificialisation provoque des impacts négatifs sur l'abondance et l'activité microbienne, ainsi que sur la macrofaune (que ce soit par pollution, imperméabilisation, enlèvement ou mélange des horizons). Les impacts sur les invertébrés sont cependant variables en fonction des sites étudiés (jardins potagers urbain, ou sites d'extraction minière) (Béchet *et al.*, 2019).

Les sols sont un **support de vie des espèces**. Les espèces végétales (hors épiphytes) se servent du sol comme support. Leurs racines utilisent la porosité du sol pour s'ancrer et pour avoir accès à l'eau et aux nutriments (N, P, K, S, Ca, oligoéléments). Les plantes trouvent dans le sol des pathogènes et auxiliaires (Chenu, 2016). Le sol est aussi un support pour le déplacement de la plupart des espèces animales terrestres. L'artificialisation des sols par imperméabilisation impacte directement cette fonction en ne laissant plus la possibilité aux espèces de se servir du sol comme support de vie. De plus, il est compliqué pour un système racinaire de se développer dans un sol tassé ne comportant plus de porosité.

Les sols participent aux **cycles du carbone, de l'azote et des autres éléments**. Les organismes présents dans les sols permettent de dégrader la matière organique, ce qui participe aux cycles des éléments. L'artificialisation des sols par imperméabilisation peut diminuer les stocks en carbone dans les sols, dû au décapage des horizons superficiels. La compaction des sols peut affecter le cycle du carbone, en limitant le développement racinaire et le stockage du carbone (Béchet *et al.*, 2019).

Les sols permettent la **régulation du cycle de l'eau**. Les sols, permettant l'infiltration, le stockage, le drainage en profondeur et l'absorption de l'eau, sont de ce fait un élément nécessaire au cycle de l'eau (Chenu, 2016). L'imperméabilisation d'un sol empêche l'eau de s'infiltrer et donc la réalisation de cette fonction. La compaction des sols empêche aussi l'infiltration de l'eau (Béchet *et al.*, 2019).

La FIGURE 3 résume les impacts de l'artificialisation sur les fonctions des sols.

À partir d'un certain degré d'impact, les sols sont suffisamment impactés pour qu'ils ne puissent plus réaliser leurs fonctions. Selon Ranjard (2020), les dégradations sur les sols sont toujours réversibles puisque certains micro-organismes des sols sont toujours présents et qu'il est possible de faire des apports extérieurs de terre végétale ou de matière organique.

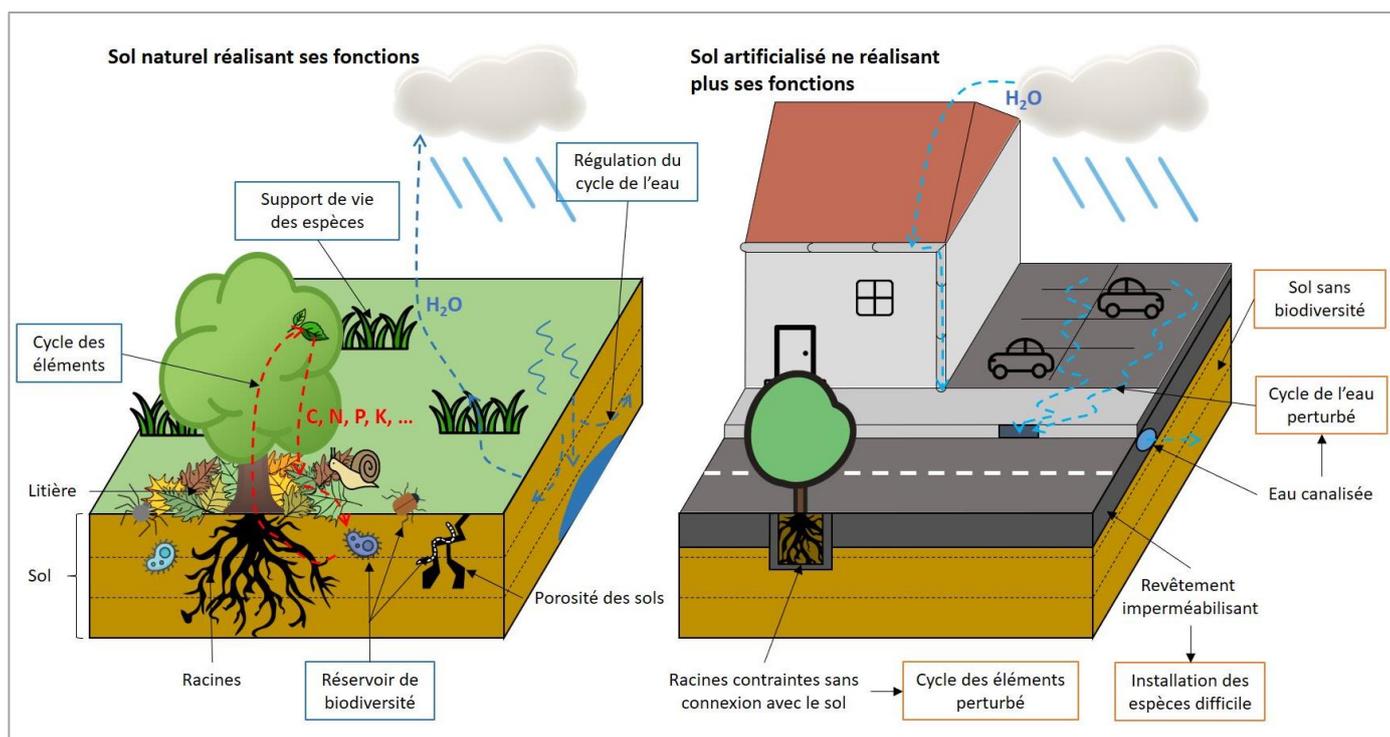


Figure 3 : Illustration des fonctions des sols et des impacts de l'artificialisation sur les fonctions des sols

1.2.3. Les impacts de l'artificialisation sur les écosystèmes

En plus des impacts de l'artificialisation sur les sols et leurs fonctions, l'artificialisation a des impacts sur les écosystèmes.

L'artificialisation peut correspondre à une **destruction directe des habitats naturels**. Lors de la construction d'un bâtiment sur un espace naturel, la destruction des habitats naturels sera indispensable pour l'implantation du bâtiment. Cette destruction d'habitats impacte aussi bien les espèces qui y vivent que la biodiversité des sols.

Les impacts peuvent aussi être réalisés par le mitage, qui est « *la dispersion des constructions dans un paysage naturel* » (Fosse et al., 2019). De nombreuses habitations se construisent en effet en discontinuité avec le bâti existant. L'artificialisation qui se réalise sur un corridor écologique peut **rompre les connexions écologiques** ; il est en effet beaucoup plus difficile pour les espèces, voire impossible pour certaines d'entre-elles, de se déplacer sur des espaces artificialisés. En participant activement à la fragmentation des habitats, le mitage empêche les espèces de se déplacer librement d'un espace à un autre, bloque les échanges génétiques et les colonisations de nouveaux milieux par d'autres espèces.

L'artificialisation peut aussi provoquer des impacts indirects sur les écosystèmes. Les eaux pluviales peuvent se charger en polluants sur les surfaces imperméabilisées et ruisseler dans les écosystèmes environnants. Le bruit créé par la circulation sur les axes routiers, la lumière provoquée par l'éclairage nocturne, la pollution de l'air provenant des industries et des véhicules, sont autant d'impacts indirects sur les écosystèmes à proximité des espaces artificialisés.

1.2.4. Les impacts de l'artificialisation sur l'être humain

L'être humain a aussi des avantages à préserver la biodiversité puisqu'il bénéficie de services écosystémiques fournis par les écosystèmes.

Les services écosystémiques des sols fournis à l'être humain sont :

- **La régulation de la qualité des milieux** par filtration, épuration des eaux dans les sols (Chenu, 2016) et par régulation de la pollution, réalisé par les bactéries et champignons des sols (Triplet, 2020).
- **La protection des ressources en eau**, par épuration et stockage des eaux dans les sols pour que l'être humain puisse s'approvisionner en eau (Triplet, 2020).
- **La lutte contre les inondations**. Les sols permettent l'infiltration de l'eau et régulent ainsi les crues pour diminuer les impacts des inondations. Les sols imperméabilisés contribuent à accentuer la gravité des inondations, en empêchant l'infiltration de l'eau (CGDD, 2018b).
- **La régulation du climat**, par le stockage du carbone dans les sols (Chenu, 2016). L'artificialisation implique des émissions de gaz à effet de serre par augmentation des déplacements si les nouvelles constructions se situent loin du tissu urbain existant (CGDD, 2018), une des causes du changement climatique.
- **L'approvisionnement en aliments**, puisque les végétaux servant pour l'alimentation humaine et d'élevage se développent sur les sols, mais également **l'approvisionnement en matériaux végétaux**, tels le bois et les fibres (Chenu, 2016). L'artificialisation, en diminuant la surface disponible pour l'agriculture, affecte le potentiel agricole des terres (CGDD, 2018b).
- **L'approvisionnement en matériaux** utilisés par l'être humain, telle la tourbe.

L'être humain est ainsi impacté par l'artificialisation qu'il provoque en diminuant la quantité et la qualité des services écosystémiques qu'il pourrait utiliser.

1.3. L'artificialisation, une des menaces principales sur la biodiversité

Les pressions environnementales sont des types de facteurs de stress d'origine humaine, qui provoquent des impacts sur les écosystèmes et la biodiversité. L'IPBES (2019) a identifié et hiérarchisé 5 pressions environnementales :

- **La modification de l'utilisation des terres et des mers (ou changement d'usage des sols)** est dû à l'expansion de l'agriculture et des aires de pêche, à l'extension des villes et à l'augmentation des populations (Balvanera *et al.*, 2019). Le changement d'usage des sols correspond à un changement dans l'utilisation ou la gestion des terres par l'être humain, qui peut mener à un changement de couverture terrestre (IPBES, 2018)⁴. Selon cette définition, une intensification des pratiques est considérée comme un changement d'usage des sols. Si l'expansion agricole est la première cause de changement d'usage des sols au niveau mondial, l'artificialisation est aussi un facteur majeur de modification de l'utilisation des terres.
- **La surexploitation directe des organismes**, par pêche et chasse d'animaux sauvages dans leurs milieux naturels, pratiqué au-delà du taux de renouvellement, a des conséquences sur le fonctionnement des écosystèmes (p. ex. sur la génétique des populations). **L'extraction des ressources non renouvelables et de l'eau** a aussi des conséquences sur la biodiversité, pouvant provoquer un changement d'usage des sols, augmenter les risques d'érosion des sols, ou encore altérer l'hydrographie d'une zone (Balvanera *et al.*, 2019).

⁴ « Land use change refers to a change in the use or management of land by humans, which may lead to a change in land cover. » (IPBES, 2018)

- **Les pollutions** sont multiples. Dans l’atmosphère, les émissions de gaz à effet de serre et des particules en suspension dans l’air sont dues aux activités humaines et participent aux changements climatiques, qui ont des conséquences sur la biodiversité. L’eau contient également des polluants, qui met en péril l’équilibre de la biodiversité aquatique. Les pollutions sonores, dues à l’omniprésence de l’être humain dans les milieux naturels impactent les espèces sensibles au bruit (Balvanera *et al.*, 2019). La pollution plastique est aussi omniprésente.
- **Les changements climatiques** sont principalement dus aux émissions de gaz à effet de serre. Ils influent sur la température et les précipitations, impactent les espèces et provoquent l’acidification des océans (Balvanera *et al.*, 2019).
- **Les espèces exotiques envahissantes** résultent de la dissémination de plantes par l’être humain entre plusieurs régions du monde. Elles se développent au détriment des espèces indigènes, impactant la biodiversité locale.

L’Évaluation de l’IPBES a consolidé de nombreuses études pour hiérarchiser les différentes pressions selon leur impact global sur la biodiversité. À l’échelle mondiale, le changement d’usage des sols terrestres et marins a le plus grand impact sur la biodiversité (30 %), suivi par l’exploitation des organismes (23 %), le changement climatique (14 %), les pollutions (14 %) et enfin les espèces exotiques envahissantes (11 %) (Ichii *et al.*, 2019) (cf. FIGURE 4).

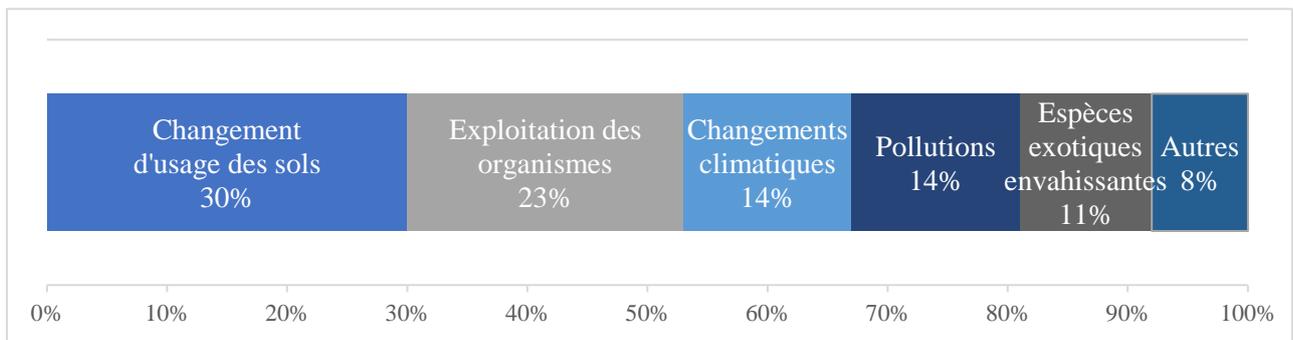


Figure 4 : Participation de chaque pression à l’impact global sur la biodiversité. (Données de Ichii *et al.*, 2019)

L’artificialisation, par changement d’utilisation d’un espace naturel, agricole ou forestier vers un espace artificialisé, fait partie intégrante des changements d’usage des sols, principal facteur d’érosion de la biodiversité à l’échelle mondiale. L’objectif de ZAN s’inscrit ainsi dans une logique de lutte contre ce changement d’usage des sols, si destructeur pour le vivant.

2. Proposition de mesures pour éviter, réduire et compenser l'artificialisation et atteindre l'objectif de zéro artificialisation nette

L'augmentation de la disponibilité en logements et autres infrastructures est indispensable pour répondre aux besoins d'une population croissante (+ 0,3 % en 2019 selon l'Insee, 2020). Étant donné les impacts majeurs de l'artificialisation sur les sols, leurs fonctions écologiques associées et les écosystèmes, la présente partie propose des mesures pour stopper les impacts de l'artificialisation sur les sols tout en répondant aux besoins de construction d'infrastructures nécessaires au développement de certains territoires et au bien-être des habitants.

2.1. Réflexions sur la convergence entre zéro artificialisation nette et la séquence ERC

2.1.1. Constat sur la place des sols dans l'application actuelle de la séquence ERC

Dans la théorie, le principe d'action préventive et de correction est un principe général du droit de l'environnement qui implique « *d'éviter les atteintes à la biodiversité et aux services qu'elle fournit ; à défaut, d'en réduire la portée ; enfin, en dernier lieu, de compenser les atteintes qui n'ont pu être évitées ni réduites, en tenant compte des espèces, des habitats naturels et des fonctions écologiques affectées* » (Article L. 110-1 du Code de l'environnement). Tout impact sur la biodiversité est censé réaliser ce principe pour viser « *un objectif d'absence de perte nette de biodiversité* ». Ce principe sous-entend qu'on devrait toujours réfléchir dans une logique d'évitement, de réduction et de compensation des impacts sur l'environnement, quels que soient les types d'impact, y compris par artificialisation.

La séquence « éviter, réduire, compenser » (ERC) existe dans la loi française depuis 1976 et a été renforcée par la Loi pour la reconquête de la biodiversité, de la nature et des paysages de 2016. Dans la pratique, la séquence ERC ne s'applique réellement qu'à certains cas particuliers d'impacts sur la biodiversité, encadrés par des articles de la loi. Il s'agit des impacts sur les espèces protégées, les autorisations au titre de la loi sur l'eau, les ICPE (installations classées pour la protection de l'environnement), et autres cas particuliers.

La séquence ERC est intégrée à l'étude d'impact, qui est elle-même le document sur lequel s'appuie l'évaluation environnementale. L'étude d'impact doit prendre en compte « *1° La population et la santé humaine ; 2° La biodiversité, en accordant une attention particulière aux espèces et aux habitats protégés [...]; 3° Les terres, le sol, l'eau, l'air et le climat ; 4° Les biens matériels, le patrimoine culturel et le paysage ; 5° L'interaction entre les facteurs mentionnés aux 1° à 4°.* » (Article L. 122-1 du Code de l'environnement). Bien qu'il soit clairement mentionné que les sols doivent faire partie des études d'impact, dans la pratique ceux-ci sont rarement intégrés à la démarche (Marié, 2020).

La phase d'évitement doit permettre la suppression totale d'un impact sur la biodiversité et sur les services qu'elle fournit. L'évitement spatial consiste par exemple à étudier différents scénarios d'aménagement afin de déplacer le site ou d'en modifier l'emprise pour supprimer son impact sur une espèce protégée. Cette phase d'évitement peut éventuellement mener à l'abandon même du projet.

La phase de réduction permet quant à elle de limiter les impacts qui n'ont pu être évités. Des modifications du projet ou des solutions techniques peuvent être mobilisés sur la phase de réduction, en vue de minimiser au maximum les impacts résiduels persistant à l'issue des deux premières phases.

Les impacts résiduels sont calculés à l'issue de l'application des deux premières phases et permettent le dimensionnement de la compensation. Les mesures compensatoires sont définies pour équilibrer les impacts d'un projet, en générant un gain net de biodiversité sur un autre site ou sur le même site, à proximité (écologique ou spatiale).

Les sols devraient être étudiés dans les études d'impact puisque la loi y prévoit la prise en compte des sols. De cette manière, les mesures de la séquence ERC devraient s'appliquer aux sols.

2.1.2. La démarche à appliquer pour éviter, réduire et compenser l'artificialisation

L'étude des sols devrait prendre plus d'importance dans les études d'impact environnemental.

Afin d'utiliser la séquence ERC au phénomène de l'artificialisation, nous allons proposer dans la suite de ce mémoire des mesures pour éviter, réduire et compenser l'artificialisation.

À l'échelle d'un projet qui provoquerait de l'artificialisation, la démarche proposée pour atteindre le ZAN consiste en (cf. FIGURE 5) :

- Soit ne pas artificialiser : ceci correspond à éviter l'artificialisation (option 1) ;
- Soit compenser l'artificialisation en désartificialisant : il s'agit alors d'une compensation, qui doit nécessairement être accompagnée d'une réduction des impacts de l'artificialisation pour diminuer les besoins en compensation et diminuer les impacts sur l'environnement (option 2).

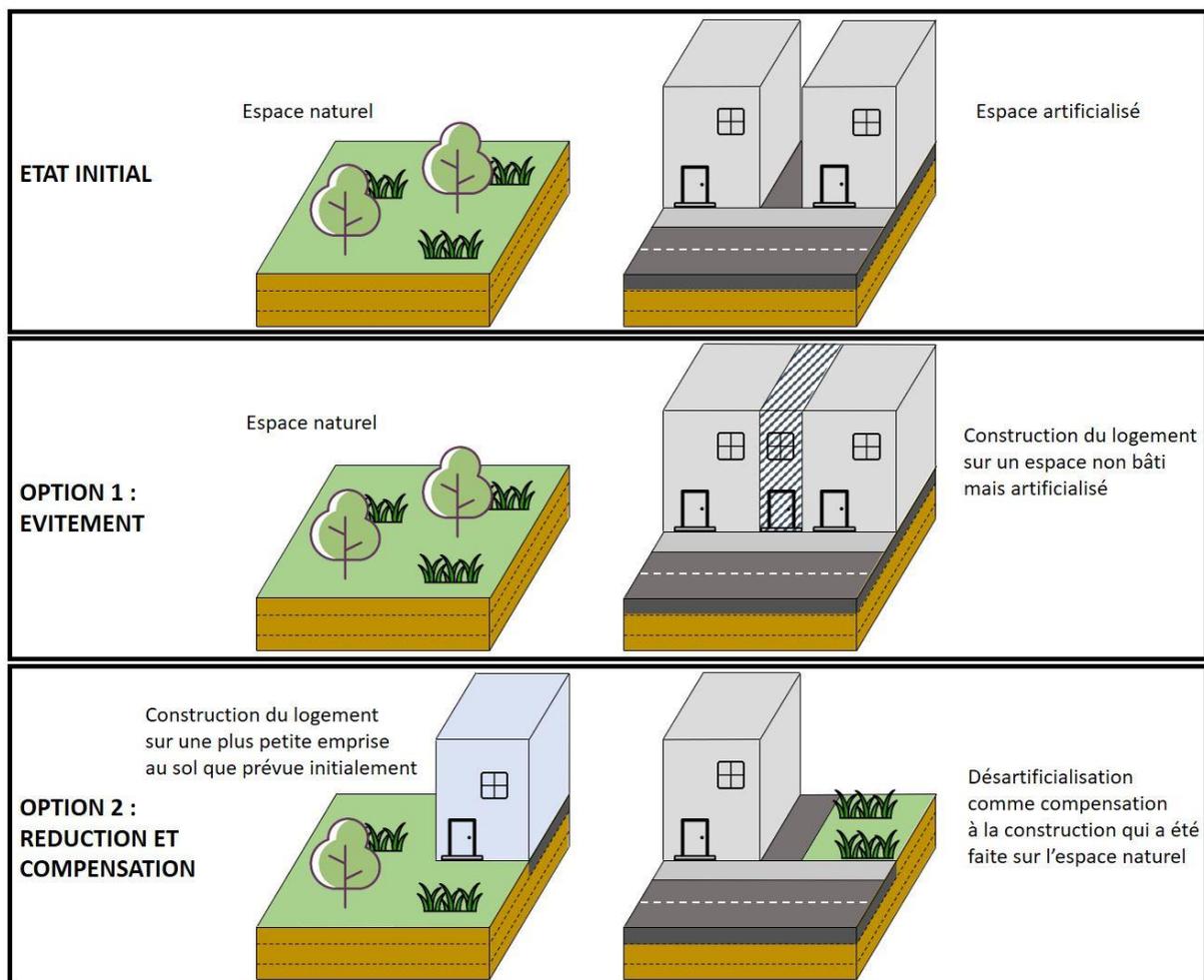


Figure 5 : Démarche proposée pour atteindre le ZAN en appliquant les mesures pour éviter, réduire et compenser l'artificialisation à l'échelle du projet, en prenant l'exemple de la construction d'un logement

À l'échelle d'un territoire, l'ensemble des projets artificialisants devraient prendre des mesures pour ne pas artificialiser ou pour établir un équilibre entre espaces artificialisés et espaces à désartificialiser, afin d'atteindre le ZAN, comme illustré sur la FIGURE 6.

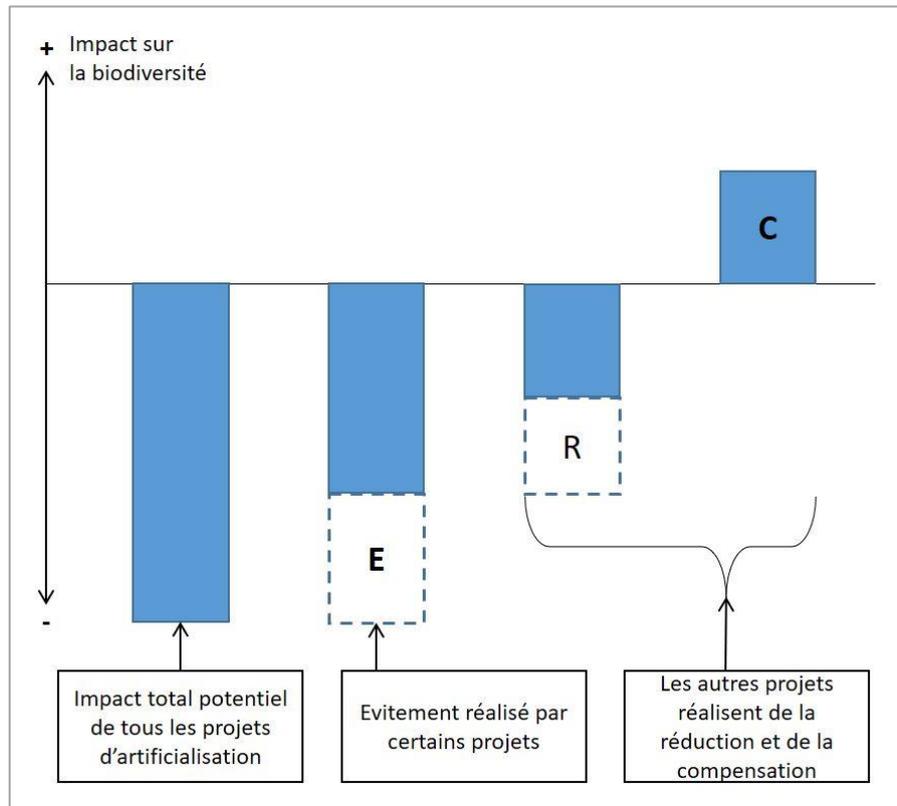


Figure 6 : Atteinte de l'objectif de ZAN à l'échelle d'un territoire. E : mesures d'évitement, R : mesures de réduction, C : mesures de compensation.

L'ensemble des mesures proposées pour atteindre l'objectif de ZAN sont résumées dans le TABLEAU 1. Dans le cadre de ce stage, les mesures proposées ne sont pas exhaustives ; elles ont seulement pour but d'engager les réflexions vers les actions possibles pour lutter contre l'artificialisation. Les mesures proposées ne sont pas forcément toutes applicables à l'échelle du projet dans une étude d'impact ; leur application est parfois nécessaire à une échelle territoriale, mobilisant des acteurs autres que ceux de la construction.

Tableau 1 : Résumé des mesures proposées pour éviter, réduire et compenser l'artificialisation

| TYPE DE MESURE | PARTIE DU RAPPORT | INTITULÉ DE LA MESURE |
|----------------|----------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------|
| EVITER | 2.2.1 | Abandonner le projet de construction |
| | 2.2.3 | Réutiliser les bâtiments existants : |
| | 2.2.2 | Densifier en logements dans les bâtiments existants |
| | 2.2.2 | Surélever un bâtiment par ajout d'un étage |
| | 2.2.3 | Réduire le taux de vacance du bâti |
| | 2.2.3 | Réutiliser un bâtiment en changeant son usage |
| | 2.2.3 | Améliorer l'utilisation des bâtiments (p. ex. : partage des locaux) |
| | 2.2.3 | Réhabiliter le bâti (p. ex. : rénovation d'anciens bâtiments) |
| | 2.2.4 | Réutiliser le foncier déjà artificialisé : |
| | 2.2.4 | Réutiliser les friches |
| | 2.2.4 | Démolir puis reconstruire des bâtiments |
| | 2.2.4 | Diviser une parcelle pour construire plus sur une même surface |
| 2.2.4 | Construire des bâtiments dans les jardins | |
| REDUIRE | 2.3.1 | Réduire les impacts de l'artificialisation sur les sols : |
| | 2.3.1 | Diminuer l'emprise au sol des constructions |
| | 2.3.1 | Construire sur plusieurs étages |
| | 2.2.2 | Privilégier l'habitat collectif ou semi-collectif à l'habitat individuel |
| | 2.3.2 | Réduire les impacts de l'artificialisation sur la biodiversité : |
| | 2.3.2 | Privilégier les constructions sur des espaces de faible valeur écologique |
| | 2.3.2 | Ne pas construire sur les espaces faisant partie des TVB |
| | 2.3.2 | Ne pas construire en mitage et privilégier la construction en continuité avec le bâti existant |
| | 2.3.3 | Réduire les impacts de l'artificialisation sur les fonctions des sols : |
| | 2.3.3 | Laisser des espaces de pleine terre au sein des constructions |
| | 2.3.3 | Développer des infrastructures vertes (p. ex. : noues végétalisées) |
| | 2.3.3 | Utiliser des revêtements perméables |
| | 2.3.3 | Conserver des espaces verts en ville |
| | 2.3.4 | Anticiper l'usage futur d'un bâtiment : |
| 2.3.4 | Envisager en amont les changements d'usage d'un bâtiment | |
| 2.3.4 | Envisager en amont la déconstruction d'un bâtiment | |
| COMPENSER | 2.4.2 | Déconstruire les bâtiments |
| | 2.4.3 | Désimperméabiliser les sols |
| | 2.4.4 | Dépolluer les sols |
| | 2.4.5 | Reconstituer un sol |
| | 2.4.6 | Renaturer le site |

2.2. Éviter l'artificialisation : propositions de mesures pour arrêter l'utilisation des sols

Pour la séquence ERC, l'évitement est défini pour un habitat ou un milieu naturel donné, comme une mesure qui « *garantit l'absence totale d'impacts directs ou indirects du projet, plan ou programme sur l'ensemble de cet habitat ou du milieu naturel* » (CGDD, 2018a). Pour l'objectif de ZAN, la logique est semblable : l'évitement de l'artificialisation consiste alors à ne pas artificialiser un espace qui ne l'est pas.

2.2.1. Évaluer l'utilité du projet pour envisager l'abandon du projet

En 2018, le CGDD a dressé un constat alarmant quant aux dynamiques actuelles d'artificialisation, entre 2006 et 2016. Il apparaît que l'artificialisation ne se situe pas toujours dans les zones où elle est nécessaire : « *73 % des espaces consommés se situaient dans des communes en zones non tendues, c'est-à-dire ne présentant pas de déséquilibre entre offre et demande de logements. [...] Les nouvelles surfaces artificialisées se situent pour 37 % dans des communes où le taux de vacance augmente de plus de 50 %. [...] 21 % des nouvelles surfaces artificialisées entre 2006 et 2016 se situent dans des communes dont la population décroît* » (CGDD, 2018b).

Ce constat montre qu'une partie de l'artificialisation se situe dans des espaces où la demande de la population n'est pas forcément présente. Ainsi, en amont de tout projet artificialisant, il est essentiel de s'interroger si celle-ci émane d'un réel besoin pour la collectivité territoriale. Si le projet n'est effectivement pas nécessaire, par exemple s'il n'y a pas de réelle demande de la part de la population, alors il faut vivement considérer la possibilité d'abandonner le projet.

Les externalités négatives engendrées par une artificialisation, comme la nécessité de construire un nouveau réseau routier, la pollution générée par ces transports, l'augmentation du temps de transport, sont autant d'éléments à considérer pour comparer les avantages et inconvénients d'un projet. Il peut s'agir d'une aide à la décision pour savoir si un projet est pertinent ou non. L'intérêt économique et social de certains projets, comme les centres commerciaux qui rentrent en compétition avec les commerces de centre-ville, doit de même être pris en compte pour déterminer leur utilité.

2.2.2. Tendre vers une densification vivable

La densification des bâtiments existants ou à construire, en zone urbaine, périurbaine ou rurale, est une solution envisagée pour accueillir plus de personnes sur un même espace. La densité de construction est définie « *par le rapport entre la surface de plancher⁵ de cette construction et la surface de terrain sur laquelle elle est ou doit être implantée* » (Article L111-21 du Code de l'Urbanisme). En 2011, la densité moyenne des bâtiments, était de 0,15 (Cerema, 2014)⁶. Plus les constructions sont denses sur les parcelles utilisées, plus la parcelle peut accueillir de logements et activités et moins il y a de besoin de consommer d'autres espaces pour construire.

La densification peut se traduire par la construction sur plusieurs étages, la surélévation d'un bâtiment déjà existant, la subdivision d'une parcelle en plusieurs plus petites pour construire plus sur un même terrain, le choix de privilégier l'habitat collectif à l'habitat individuel, la réhabilitation de friches, etc.

⁵ La surface de plancher de la construction est « *la somme des surfaces de plancher closes et couvertes, sous une hauteur de plafond supérieure à 1,80 m, calculée à partir du nu intérieur des façades du bâtiment* » (Article L111-14 du Code de l'urbanisme).

⁶ C'est-à-dire que sur une parcelle de 100 m², en moyenne 15 m² de surface de plancher est construite.

Afin d'atteindre le ZAN, la densification du bâti doit être envisagée lors de la réutilisation d'anciens bâtiments.

La densification de la ville soulève toutefois la question de la vivabilité. Une trop forte densité en ville peut en effet provoquer un sentiment d'oppression chez les habitants. La biodiversité peut également être impactée par la forte densité urbaine. Il est nécessaire de concilier d'une part la densification urbaine avec un cadre de vie agréable pour les habitants, et d'autre part la densification avec les enjeux de biodiversité en ville.

En effet, la question de la densification soulève un paradoxe : si celle-ci permet d'éviter les impacts sur la biodiversité via la minimisation de l'étalement urbain, elle entraîne potentiellement une diminution de la surface des espaces verts pour les besoins en construction, générant des impacts sur la qualité de vie des habitants.

Afin d'éviter les désagréments dus à la forte densité en ville, il convient de **réaliser la densification dans les zones urbaines les moins denses**, dans lesquelles la densification est souhaitable pour redynamiser. Au contraire, il n'est pas opportun de densifier les centres urbains déjà denses (Zucca, 2020). L'habitat semi-collectif notamment (maisons mitoyennes) (Sainteny, 2020) est une forme d'habitat intermédiaire entre le très dense et le sous-dense, qui permet d'avoir un équilibre entre la densité et le cadre de vie agréable.

Il est aussi primordial d'**éviter que la densification se fasse au détriment des espaces verts urbains**. En effet, ceux-ci participent à la bonne santé physique et morale des habitants (lieux de détente, de sport, etc.), et doivent donc être conservés.

L'objectif est alors de **créer des espaces publics multifonctionnels** (mixant les lieux de nature, de détente, de sport, etc.) afin de répondre aux besoins de chaque habitant et d'avoir des espaces de nature (Ademe, 2018). La qualité des espaces publics doit être en mesure de rendre agréable la densité d'un quartier, et d'améliorer la qualité de vie des habitants (Ademe, 2018).

La densification peut avoir des impacts importants sur la température en ville, il faut donc prendre des mesures pour **limiter l'augmentation de la température en ville**. L'augmentation des surfaces de couleur sombre (goudron) provoque la diminution de l'albédo et donc un réchauffement des villes. Couplé à la diminution de la végétation (et donc la diminution de l'évapotranspiration), cela ne permet plus la régulation normale de la température. Les activités humaines en ville participent aussi à l'augmentation de la température. Il s'agit du phénomène de l'îlot de chaleur urbain, menant à une augmentation de la température des villes par rapport à l'extérieur de la ville. À Paris, l'îlot de chaleur urbain participe à l'augmentation de la température nocturne de l'ordre de 2 à 3 °C en moyenne annuelle par rapport aux zones rurales environnantes (Agence Parisienne pour le Climat & Météo France, 2013). Lors des périodes de canicules, il est donc plus difficilement supportable d'être en ville.

Il faut ainsi porter une attention particulière au bien-être des habitants lorsque l'on cherche à densifier l'espace urbain. Sans cela, les mesures prises seraient susceptibles de ne pas être acceptées.

2.2.3. La réutilisation du bâti

La construction sur des espaces non-artificialisés peut potentiellement être remplacée par la réutilisation du bâti déjà existant, répondant au même usage. Il s'agirait alors d'un évitement total de l'artificialisation.

Pour favoriser la réutilisation de bâtiments déjà construits mais non utilisés, plusieurs solutions sont à envisager.

La réduction du taux de vacance du bâti correspond à « *la part des logements vacants dans l'ensemble des logements. Un logement vacant est un logement inoccupé se trouvant dans l'un des cas suivants :*

- *Proposé à la vente, à la location ;*
- *Déjà attribué à un acheteur ou un locataire et en attente d'occupation ;*
- *En attente de règlement de succession ;*
- *Conservé par un employeur pour un usage futur au profit d'un de ses employés ;*
- *Gardé vacant et sans affectation précise par le propriétaire (exemple un logement très vétuste...) » (Insee, 2016a, 2019a).*

En 2015, le taux de vacance des logements était de 7,9 % (Insee, 2018). Réduire le taux de vacance des logements et du bâti en général permettrait d'augmenter la réutilisation des logements déjà construits et en conséquence d'éviter de nouvelles constructions. Cependant, le rapport de France Stratégie montre que jouer sur le taux de vacance des logements induit une réduction de l'artificialisation faible par rapport au total des espaces artificialisés (Fosse *et al.*, 2019). Cette solution doit donc être complétée par d'autres.

La réutilisation des bâtiments est une solution pour éviter leur non-utilisation, même si leur réutilisation nécessite un changement d'usage. L'amélioration de l'utilisation des bâtiments déjà existants est aussi une solution pour ne pas en construire de nouveau : il est possible d'accueillir plus d'activités dans un même local, soit en partageant l'espace (utilisation d'une surface raisonnable pour une activité), soit en partageant le local dans le temps (accueil d'activités différentes en fonction des horaires).

Il est en outre possible de **réhabiliter le bâti déjà existant**. En plus de permettre de lutter contre l'artificialisation et de valoriser du bâti sous utilisé, la réhabilitation du bâti permet d'offrir davantage de services à la population et de redynamiser les centre-bourgs. La réhabilitation du bâti déjà existant nécessite toutefois des connaissances techniques particulières. Les artisans qui savent rénover du bâti ancien ne sont pas les mêmes que les entreprises qui savent construire du neuf (Sainteny, 2020). Il y a donc une nécessité de revaloriser ces métiers pour lutter contre l'artificialisation (Sanaa, 2020).

2.2.4. La réutilisation du foncier déjà artificialisé

Pour œuvrer dans le sens de la densification, les collectivités territoriales doivent envisager la réutilisation du foncier déjà artificialisé. L'objectif est alors d'utiliser au maximum les terrains qui sont d'ores et déjà artificialisés, puisqu'ils ont une valeur écologique plus faible que les espaces non artificialisés. Ce foncier est plus largement connu sous le nom de « friches ».

Si celles-ci recoupent des réalités très différentes (friches industrielles, militaires, ferroviaires, portuaires, commerciales, agricoles, autoroutières, etc. (LIFTI, 2017)), le LIFTI (Laboratoire d'Initiatives Foncières et Territoriales Innovantes) définit la friche comme étant « *un bien ou un droit immobilier, bâti ou non bâti, quel que soit son affectation ou son usage, dont l'état, la configuration ou l'occupation totale ou partielle ne permet pas un réemploi sans une intervention préalable* ».

Le renouvellement urbain, qui consiste en la « *reconstruction de la ville sur elle-même, par recyclage de ses ressources bâties et foncières* » (IAU Île-de-France, 2016), apparaît comme étant la forme d'évolution urbaine à privilégier pour supprimer les impacts de l'artificialisation sur les sols.

L'identification des friches (en termes de localisation, d'opérations devant être réalisées, de propriétaire, de surface) sur l'ensemble du territoire doit être en mesure de faciliter les démarches pour leur réutilisation. Dans un premier temps, la réhabilitation de ces friches nécessite un recensement et une cartographie des friches françaises. Aujourd'hui, l'application Cartofriches développée par le Cerema permet ce recensement, afin d'accompagner les porteurs de projets et les collectivités territoriales dans la réutilisation de ces friches. Cartofriche recense actuellement 1300 friches (République Française et

Cerema, 2020). Cet outil peut être complété par l'inventaire BASIAS (Inventaire historique des Sites Industriels et Activités de Service) qui décompte, en 2020, environ 322 400 anciens sites industriels et activités de services en France (Géorisques, 2020). La base de données BASOL, quant à elle, référence les sites et sols pollués ou potentiellement pollués, avec 3 500 sites dont l'impact de la pollution est constaté (MTES, 2020).

Un travail de recensement sur l'Île de France a montré que l'utilisation des friches existantes en Île-de-France ne pourrait servir à stopper l'artificialisation de nouvelles terres que pour une durée de 7 à 8 ans (Cormier, 2020). L'utilisation des friches n'est donc qu'une solution à moyen terme pour stopper l'artificialisation.

Cependant, la réhabilitation des friches ne doit pas être réalisée de manière déraisonnée. Certaines friches possèdent en effet une richesse écologique importante qu'il convient de préserver. Par essence, l'abandon d'un site mène à une reprise progressive de la végétation par colonisation d'espèces pionnières, cette situation intermédiaire présentant une grande diversité biologique (Shwartz, 2011).

Au sein des villes, les friches peuvent abriter des espèces différentes, voire une biodiversité plus importante que d'autres espaces verts tels que les squares. Elles constituent aussi des refuges pour des espèces qui n'ont plus d'habitat naturel par ailleurs (Shwartz, 2011). Il peut de ce fait être opportun de conserver certaines friches lorsque celles-ci ont un intérêt écologique.

Avant de choisir de réutiliser un site de friche, il est donc essentiel d'évaluer son importance écologique pour déterminer l'impact qu'aura l'aménagement sur la biodiversité. Au cas par cas, un diagnostic doit ainsi être réalisé en fonction du contexte géographique du site (potentiellement intégré à une TVB), sa biodiversité, les usages souhaités.

La réutilisation du foncier déjà artificialisé peut aussi passer par la déconstruction de bâtiments puis reconstruction d'un nouveau bâtiment sur le même terrain. Cette opération permet la construction sur un sol déjà artificialisé, ne dégradant pas d'autres sols. Il est possible de reconstruire un bâtiment plus dense que précédemment, améliorant par la même occasion sa capacité d'accueil.

Une autre source de foncier déjà artificialisé correspond aux jardins des maisons individuelles (considérés comme artificialisés selon la définition usuelle). Les maisons individuelles, au nombre de 19 millions en 2019 (selon l'Insee, 2019b), présentaient en 2013 pour près de 95 % d'entre-elles un jardin (Insee, 2017). L'utilisation des jardins de maisons individuelles peut constituer une source conséquente de foncier. Densifier au sein des lotissements grâce aux jardins est une solution permettant d'augmenter la capacité d'accueil d'un espace sans toutefois artificialiser des terres. La démarche BIMBY (Build in My Back Yard) est une démarche pour inciter les propriétaires à diviser leurs parcelles de jardin dans les quartiers pavillonnaires, pour y construire un autre logement (Bimby, 2020). Cette mesure peut toutefois être difficilement acceptée compte tenu de la volonté actuelle des habitants de posséder un pavillon avec un jardin.

Sur la période 2005-2013 en France métropolitaine, le renouvellement urbain était en moyenne de 0,43, c'est-à-dire que 43 % des surfaces consacrées au bâti se sont faites sur des zones déjà bâties (Albizzati *et al.*, 2017). Augmenter ce taux reviendrait à développer la construction de la ville sur elle-même, en recyclant le foncier et les bâtiments, afin de ne pas faire croître les constructions sur les sols intacts.

2.3. Réduire l'artificialisation : une étape indispensable pour diminuer les impacts de l'artificialisation

Les mesures de réduction sont définies dans les lignes directrices nationales de la séquence ERC comme étant des « *mesure[s] définie[s] après l'évitement et visant à réduire les impacts négatifs permanents ou temporaires d'un projet sur l'environnement, en phase chantier ou en phase exploitation* » (CGDD, 2013). Appliquée à l'artificialisation, la réduction correspondrait aux mesures pour réduire les impacts négatifs de l'artificialisation sur les sols, les fonctions des sols et la biodiversité.

2.3.1. Réduire les impacts de l'artificialisation sur les sols

La diminution de l'emprise au sol des constructions est une méthode pour limiter les impacts des constructions sur les sols.

La densité de construction (vue dans la partie 2.2.2) n'est pas synonyme d'une plus faible emprise au sol. Il est en effet possible d'obtenir une même densité de construction en construisant sur plusieurs étages ou en construisant beaucoup sur une même parcelle (cf. FIGURE 7), c'est pourquoi la densité de construction n'est pas l'indicateur adéquat pour mesurer la réduction de l'emprise au sol des constructions.

D'autres coefficients permettent de mieux appréhender l'emprise au sol des constructions, comme le coefficient d'emprise au sol (CES), calculé par le rapport entre la surface d'emprise au sol⁷ de la construction et la surface totale de la parcelle (cf. FIGURE 7). La prise en compte de ce coefficient permet d'appréhender les surfaces qui ne sont pas occupées par les bâtiments, mais pas les voies d'accès, qui peuvent être imperméabilisées et impacter les sols.

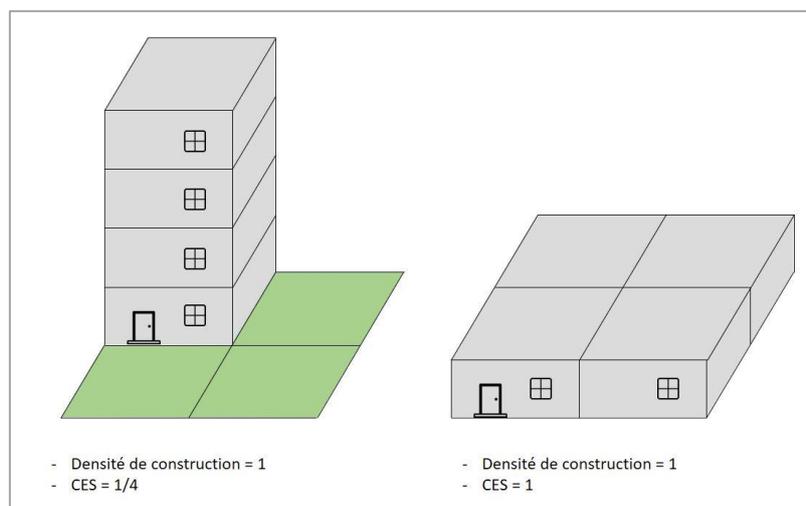


Figure 7 : Comparaison entre la densité de construction et le coefficient d'emprise au sol (CES)

La réduction des impacts de l'artificialisation sur les sols implique de repenser la manière dont sont construits les bâtiments. Construire en hauteur, sur plusieurs étages (dans la limite de l'acceptabilité des habitants), permet de limiter l'emprise des constructions sur le sol.

⁷ « L'emprise au sol [...] est la projection verticale du volume de la construction, tous débords et surplombs inclus » (Article R*420-1 du Code de l'urbanisme).

2.3.2. Réduire les impacts de l'artificialisation sur les écosystèmes

Afin de réduire les impacts de l'artificialisation sur la biodiversité, privilégier la construction sur un espace de faible valeur écologique par rapport à un espace de forte valeur écologique permet d'induire une moindre perte de biodiversité.

Les espaces prioritaires à préserver sur lesquels ne pas construire sont les suivants :

- **Les espaces protégés** (parcs nationaux, réserves naturelles, sites Ramsar, ZNIEFF, sites Natura 2000, réserves nationales de chasse et de faune sauvage, réserves de biosphère, arrêté de protection de biotope, espaces naturels sensibles, parcs naturels régionaux, réserves biologiques) présentent une forte valeur écologique et sont essentiels à la présence de certaines espèces. Ces espaces demandent pour la plupart d'allier la protection des espaces naturels avec les activités humaines ; la construction n'y est pas interdite, mais doit être réfléchie pour ne pas impacter les espaces présentant le plus de biodiversité.
- **Les zones humides et les massifs forestiers** sont des zones importantes pour la biodiversité. Ils délivrent également des services écosystémiques utiles à l'être humain (tels le stockage et la rétention d'eau, la fixation du CO₂, etc.). Il convient donc de ne pas les impacter par l'artificialisation.
- **Les réservoirs de biodiversité, corridors écologiques et éléments des trames vertes et bleues** (TVB) sont essentiels au maintien des populations d'espèces et à leurs déplacements, pour qu'ils effectuent leur cycle de vie : habitat, alimentation, repos, reproduction, etc. Les TVB doivent être identifiées et intégrées dans les SRADDET (Schéma régional d'aménagement, de développement durable et d'égalité des territoires) (Article R4251-6 du Code général des collectivités territoriales), qui peuvent de cette façon ne pas impacter ces espaces.
- **Les espaces agricoles** doivent tout autant être préservés, puisqu'ils sont nécessaires à la réalisation de l'activité agricole.

Pour éviter l'artificialisation liée à la construction d'infrastructures, il est essentiel de ne pas pratiquer l'émiettement et le mitage, puisque ces nouvelles constructions vont provoquer la construction d'un réseau routier. Il est donc opportun de concentrer la périurbanisation à proximité directe de la ville déjà existante. La construction dans les dents creuses⁸ et les interstices est une solution pour construire en continuité avec le bâti déjà existant et éviter le mitage, mais ces interstices peuvent par ailleurs être des éléments de la trame verte et bleue à conserver. Puisque chaque cas est différent, il conviendra de toujours étudier la biodiversité du terrain concerné avant d'entreprendre une construction, afin de ne pas impacter les continuités écologiques.

2.3.3. Réduire les impacts de l'artificialisation sur les fonctions des sols

Conserver des fonctions écologiques au sein de zones urbaines permet de réduire les impacts de l'artificialisation. Ainsi, certaines techniques de construction permettent de conserver des fonctions écologiques malgré l'artificialisation.

La fonction écologique de régulation des écoulements hydrologiques est sûrement celle la plus facile à appréhender et à prendre en compte lors des travaux de construction, puisque cette fonction ne peut plus se réaliser dès lors que le sol est imperméabilisé. Cette fonction peut être préservée en conservant et en développant une certaine surface de zones perméables à l'eau au sein des zones construites :

⁸ Espace non construit entouré de parcelles bâties

- **En laissant des espaces de pleine terre** : il est important de faire en sorte de garder en pleine terre les espaces sur lesquels la construction ne s'installe pas. Ces espaces, non impactés par les constructions autour sont de cette manière bien connectés avec le sous-sol pour permettre l'infiltration de l'eau.
- **En développant des infrastructures vertes** : des techniques alternatives aux fossés classiques (noues, puits d'infiltration) présentent les avantages de réduire le ruissellement, de permettre l'infiltration de l'eau pluviale, de traiter la pollution de l'eau, de contribuer à réduire les inondations en ville, etc. (Agence de l'eau Rhône Méditerranée Corse *et al.*, 2017).
- **En utilisant des revêtements perméables** : certains matériaux de revêtement ont la capacité de laisser circuler l'eau et en particulier de permettre l'infiltration des eaux de pluie en profondeur. Différents matériaux peuvent être utilisés en fonction des usages (parking, voie, trottoir) : des dalles gazons en béton, un revêtement en béton poreux, des surfaces empierrées, etc. (Agence de l'eau Rhône Méditerranée Corse *et al.*, 2017).

De même, certains impacts de l'artificialisation sur d'autres fonctions des sols peuvent être atténués par conservation d'espaces verts et d'espaces de terre connectés avec le sol au sein des zones urbaines. Ces espaces contribuent à la réalisation de la fonction de régulation de la température et du climat grâce à la végétation présente sur les sols. Ils permettent également le déplacement des espèces animales au sein des zones urbanisées, via des TVB urbaines.

Le coefficient de biotope par surface (CBS) peut aider à la prise en compte des surfaces permettant la réalisation des fonctions. Il est calculé par le rapport entre la surface éco-aménageable⁹ d'une parcelle et la surface de la parcelle (Ademe, 2015) et vise à conserver une certaine quantité de surfaces non artificialisées, et à les rendre favorable à la biodiversité. Depuis la loi ALUR, les PLU peuvent imposer dans leur règlement « *une part minimale de surfaces non imperméabilisées ou éco-aménageables, [...] afin de contribuer au maintien de la biodiversité et de la nature en ville* » (Article L151-22 du Code de l'urbanisme). Le calcul du CBS intègre les surfaces de toits ou de murs végétalisés, pouvant être bénéfiques pour appréhender la biodiversité en ville, la gestion de l'eau, ou la régulation de la température. Ce coefficient est une approche permettant d'appréhender la réalisation de certaines fonctions mais pas les surfaces de sols.

2.3.4. Anticiper l'usage futur d'un bâtiment

Lors d'une intention d'artificialiser un terrain, l'anticipation de son usage futur est un élément crucial pour faire en sorte de faciliter les opérations ultérieures et pour limiter les impacts sur les sols.

Si la construction a pour vocation d'être temporaire, il peut être intéressant de réfléchir dès la phase de conception à la possibilité de reconversion du bâtiment, pour sa réutilisation. Ceci permet alors de faciliter le changement d'usage du bâtiment. Par exemple, il est possible de concevoir un bâtiment tel que les installations (p. ex. eau, chauffage) soient compatibles avec plusieurs types d'usages (logement, bureau), pour en faciliter la conversion.

C'est le cas de l'entreprise Linkcity, qui a développé le concept de l'Office switch home permettant de prendre en compte, dès la phase de conception, les modalités de réversibilité d'un bâtiment de bureaux vers des logements (Rosset, 2020). À la différence d'un cas habituel, les travaux de conversion à réaliser sont moins contraignants, par exemple les installations sont compatibles à la fois pour des bureaux et pour des logements (type de façade, type de plafond, etc.), facilitant grandement la conversion.

⁹ Surface favorable à la biodiversité (p. ex. les sols de pleine terre, les murs et toitures végétalisés).

Dans l'optique où un bâtiment est censé être temporaire, une attention peut être portée à la conservation des sols présents et de leurs fonctions (p. ex. ne pas imperméabiliser les sols, ne pas tasser les sols, ne pas décaisser les sols, etc.). Dans ce cas-là, lors de la déconstruction du bâtiment, le terrain ne présentera pas d'impacts sur les sols, liés à l'ancienne artificialisation. Ceci est possible à mettre en place à travers la démarche d'écoconception, visant à intégrer une démarche plus respectueuse de l'environnement dans la conception des produits.

Pour les techniques de construction de bâtiments facilement démontables, l'entreprise Agilcare a conçu un procédé de construction de bâtiments transférables. Ces bâtiments, construits hors sol, sont entièrement démontables et réutilisables : ils n'ont de cette façon pas d'impact sur les sols (Maréchaux, 2020).

Lorsque l'évitement de l'artificialisation n'est pas possible, la réduction des impacts est une étape indispensable et préalable à la compensation des impacts de l'artificialisation. Elle permet de diminuer les impacts de l'artificialisation sur les sols, de manière spatiale ou temporelle.

2.4. Compenser l'artificialisation : équilibrer les surfaces artificialisées avec la désartificialisation

Calvet *et al.* (2020) montrent dans une étude, par élaboration d'un modèle de simulation de l'urbanisation sur le territoire de la région Occitanie, que malgré la mise en place de mesures d'évitement et de réduction, et même avec un scénario de réduction de surface de construction par habitant par 4, la perte de biodiversité sera inévitable à cause de l'urbanisation. C'est pourquoi la compensation à l'artificialisation est indispensable à étudier.

2.4.1. Les éléments à prendre en compte pour compenser l'artificialisation

Dans le cadre de la séquence ERC, les mesures compensatoires des atteintes à la biodiversité reviennent à « *compenser, dans le respect de leur équivalence écologique, les atteintes prévues ou prévisibles à la biodiversité occasionnées par la réalisation d'un projet de travaux ou d'ouvrage ou par la réalisation d'activités ou l'exécution d'un plan, d'un schéma, d'un programme ou d'un autre document de planification* » (Article L163-1 du Code de l'environnement). Par analogie, la compensation de l'artificialisation devrait compenser les atteintes qui ont été faites sur les sols, leurs fonctions et les écosystèmes.

De plus, dans les termes de zéro artificialisation nette, le terme « nette » implique une compensation aux espaces qui se sont fait artificialisés. Bien qu'il n'existe pas, à ce jour, de définition précise de la « désartificialisation », le terme sous-entend toutefois la transformation d'un espace artificialisé en un espace non artificialisé. Au regard de ces enjeux, le débat sur la définition de l'artificialisation prend tout son sens. Par exemple, avec la définition actuelle de l'artificialisation, les espaces verts associés à des activités anthropiques (parcs, jardins) étant considérés comme artificialisés, toute opération visant à convertir un espace très artificialisé en un parc urbain ne peut pas être estimée comme une opération de désartificialisation.

En considérant les sols, leurs fonctions et la biodiversité dans la définition de l'artificialisation (*cf.* partie 1.1.1), il est possible de définir la désartificialisation comme étant le processus permettant de restituer les fonctions écologiques aux sols précédemment artificialisés. La désartificialisation cherche ainsi (à travers des processus tels que la déconstruction, la désimperméabilisation, la dépollution et la

reconstitution de sol), à rendre le sol fonctionnel (régulation de l'eau, participation aux cycles des éléments et du carbone, habitat pour la biodiversité du sol, support de vie des espèces). Ces mesures doivent être accompagnées d'une renaturation afin de donner au milieu une vocation naturelle, ou du moins non artificialisée, et de compenser les milieux impactés.

Les étapes de la désartificialisation sont présentées dans les paragraphes suivants, en considérant initialement un espace totalement artificialisé et bâti. La mise en œuvre de la désartificialisation doit s'adapter au contexte du chaque site, de fait que toutes les étapes ne sont pas forcément pertinentes à être réalisées en fonction du contexte du site. Il faut de même s'interroger sur l'usage futur du site à désartificialiser pour adapter la réalisation de chaque étape en fonction des besoins futurs du site. La FIGURE 8 explique quelles sont les étapes de la désartificialisation à mener en fonction des besoins de chaque site. Ces étapes de la désartificialisation sont détaillées dans les parties 2.4.2 à 2.4.6.

Finalement, la compensation de l'artificialisation devrait viser d'une part une équivalence en termes de fonctions écologiques et d'autre part une équivalence en termes de superficie, pour pouvoir équilibrer les surfaces artificialisées avec les surfaces désartificialisées et tendre vers l'objectif de ZAN.

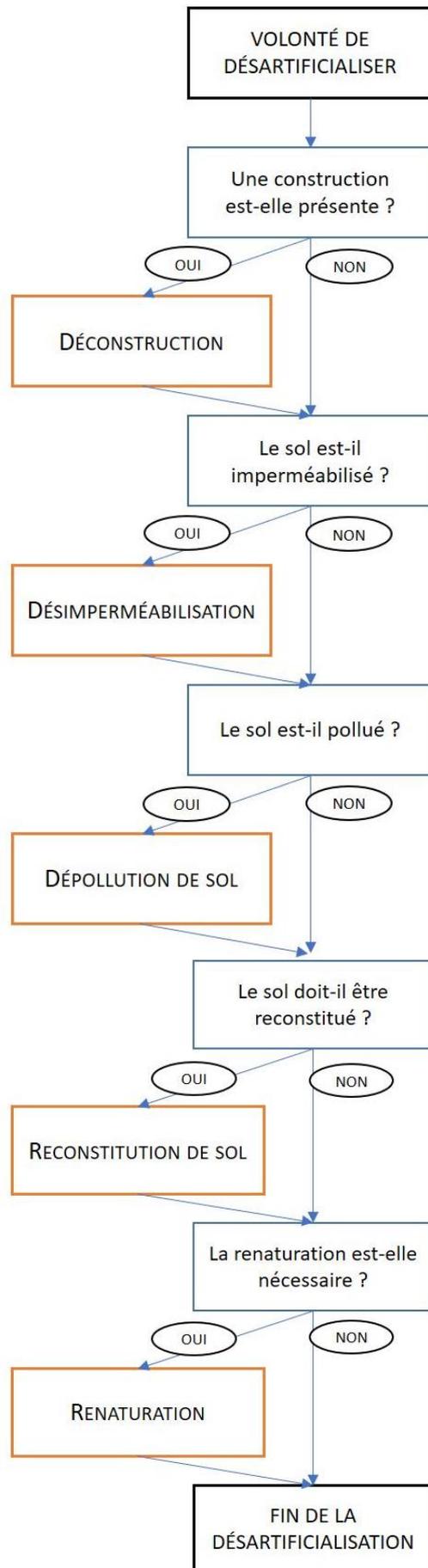


Figure 8 : Arbre de décision pour choisir les étapes à mener pour aboutir à la désartificialisation. Rectangles oranges : étapes à effectuer pour la désartificialisation ; Rectangles bleus : questions à poser pour déterminer si l'étape de la désartificialisation doit être menée

2.4.2. La déconstruction, une première étape vers la désartificialisation

Lorsque l'on cherche à désartificialiser un terrain, la première étape à réaliser est d'enlever les éléments et installations présents sur le site.

Pour enlever un bâtiment, plusieurs techniques existent :

- **Le bâtiment peut être démoli** : « une démolition de bâtiment [...] est une opération consistant à détruire au moins une partie majoritaire de la structure d'un bâtiment » (Article R111-44 du Code de la construction et de l'habitation).
- **Le bâtiment peut être déconstruit** : la déconstruction est un « démontage sélectif d'installations techniques ou de certains éléments d'une construction, afin de valoriser les déchets et de réduire les mises à la décharge » (Larousse, 2020a).

Lorsque sont utilisés des matériaux neufs pour la construction d'un bâtiment, une artificialisation indirecte est induite par les carrières d'extraction de matériaux, qui provoquent de l'artificialisation. En réutilisant des matériaux issus de la déconstruction de bâtiments pour en construire de nouveaux, la demande en matériaux neufs serait plus faible et ainsi provoquerait moins d'artificialisation liée aux carrières. C'est pourquoi, dans une logique d'usage sobre de matériaux et de lutte contre l'artificialisation, nous préconisons le recours à la déconstruction plutôt qu'à la démolition.

Ce sujet s'éloignant des enjeux de biodiversité, nous ne rentrerons pas dans les détails de la déconstruction. La déconstruction était néanmoins essentielle à évoquer, étant un préalable aux étapes suivantes.

2.4.3. La désimperméabilisation, pour reconnecter le sol avec l'atmosphère et les eaux pluviales

L'imperméabilisation des sols est définie comme étant « [l'] action et [le] résultat de l'action consistant à couvrir le sol naturel, totalement ou partiellement, par un revêtement ou une construction qui perturbe le cycle de l'eau » (IAU Île-de-France, 2016).

L'imperméabilisation des sols bloque l'infiltration de l'eau dans les sols, ce qui empêche la réalisation de la fonction de régulation du cycle de l'eau par les sols. Au-delà de cette fonction, l'imperméabilisation des sols induit un isolement entre le sol et l'atmosphère, entravant les échanges de gaz et perturbant l'activité des organismes du sol (bactéries, mésofaune et macrofaune) (Marié, 2020). Les espaces imperméabilisés sont pour la plupart des parkings, des routes, des trottoirs, des esplanades, etc.

En adoptant un point de vue biodiversité, la désimperméabilisation peut se définir comme l'action contraire à l'imperméabilisation, qui serait de retirer le revêtement ou la construction qui perturbe le cycle de l'eau, afin de reconnecter le sol avec l'eau pluviale et l'atmosphère, pour lui permettre de réaliser ses fonctions.

En outre, la désimperméabilisation rend aux écosystèmes leur capacité à fournir des services écosystémiques (l'approvisionnement en eau de qualité, garantie d'une eau en quantité suffisante, lutte contre les inondations, etc.).

Il s'agit alors de retirer les différentes couches anthropiques qui imperméabilisent les sols et de procéder aux étapes suivantes pour renaturer le site.

2.4.4. La dépollution des sols pour supprimer la toxicité envers l'environnement

Le sol encore présent sur le site à désartificialiser a potentiellement été pollué par les activités présentes auparavant sur le site (notamment dans le cas des friches industrielles). Les polluants qui peuvent être présents dans les sols sont les métaux lourds (cadmium, cuivre, plomb, zinc) et les polluants organiques (hydrocarbures, composés halogénés, herbicides, etc.) (Damas *et al.*, 2018).

La pollution des sols a divers impacts sur la santé humaine et les écosystèmes. Ces polluants peuvent être absorbés par l'être humain, directement ou indirectement. L'ingestion de particules de terre est possible, en particulier chez les enfants qui sont souvent au contact du sol. Les végétaux poussant directement sur des sols pollués peuvent absorber des polluants, qui peuvent ensuite être consommés par l'être humain. Au-delà du périmètre direct du site pollué, les polluants peuvent se retrouver dans l'air et dans l'eau, par infiltration jusqu'à une nappe d'eau souterraine.

Ces polluants créent de la toxicité et certains sont cancérigènes, la dangerosité pour les organismes variant selon les concentrations des polluants dans le milieu et l'exposition des organismes aux polluants. Les polluants sont néfastes aussi bien pour la santé humaine que pour les écosystèmes. Pour recréer un espace qui permet à la fois d'accueillir de la biodiversité et des activités humaines, il est nécessaire de dépolluer les sites lors de la désartificialisation.

Selon l'Institut de radioprotection et de sûreté nucléaire (IRSN, 2011), la dépollution est une opération qui consiste à traiter, partiellement ou totalement, un milieu pollué (sol, eau, air) pour en supprimer ou en diminuer fortement le caractère polluant, dans le but de restaurer ses fonctions et le remettre en état pour un usage.

En fonction de l'usage futur du site à désartificialiser (agricole, forestier, parc, école, etc.), il faut définir les objectifs de dépollution pour atteindre une qualité acceptable du sol et réduire le danger. Par exemple, un site qui devient un espace vert fréquenté par l'être humain doit subir une dépollution complète, pour empêcher une forte exposition de l'être humain aux polluants. Dans le cas de l'arrêt de l'exploitation d'une installation classée pour la protection de l'environnement (IPCE)¹⁰, le degré de dépollution des sols doit être compatible avec l'usage futur du site envisagé. Si une pollution du sol est recensée, il est de la responsabilité du dernier exploitant du site d'effectuer les opérations de dépollution, dans une perspective plus large de remise en état du site, afin qu'il n'y ait plus de risque pour la santé publique et pour l'environnement (Articles L512-6-1, L512-7-6, L512-12-1 du Code de l'environnement).

La dépollution des terrains n'est cependant pas toujours réalisée : certaines entreprises choisissent délibérément de garder un terrain anciennement utilisé, plutôt que d'envisager sa revente ou la mise en place d'une autre activité, pour ne pas avoir à réaliser la dépollution, qui leur coûterait plus cher (Rivet, 2020). Ces friches industrielles ne peuvent alors pas être réutilisées, car le propriétaire n'est pas connu, ou encore car la dépollution et la remise en état du terrain ne sont pas réalisées.

Afin d'informer le public de la pollution des terrains, les secteurs d'information sur les sols (SIS), issus de la loi ALUR de 2014, ont pour but de recenser les terrains « où la connaissance de la pollution des sols justifie la réalisation d'études de sols et de mesures de gestion de la pollution pour préserver la sécurité, la santé ou la salubrité publiques et l'environnement » (Article L125-6 du Code de

¹⁰ « Les usines, ateliers, dépôts, chantiers et, d'une manière générale, les installations exploitées ou détenues par toute personne physique ou morale, publique ou privée, qui peuvent présenter des dangers ou des inconvénients soit pour la commodité du voisinage, soit pour la santé, la sécurité, la salubrité publiques, soit pour l'agriculture, soit pour la protection de la nature, de l'environnement et des paysages, soit pour l'utilisation rationnelle de l'énergie, soit pour la conservation des sites et des monuments ainsi que des éléments du patrimoine archéologique. » (Article L511-1 du Code de l'environnement).

l'environnement). Ces SIS permettent ainsi de prendre en compte la pollution du site pour sa future utilisation (Cerema, 2018).

Les techniques de dépollution des sols font intervenir différents types de traitements en fonction des polluants présents, du contexte du site (topographie, géologie, etc.) et des usages souhaités. Différentes techniques peuvent être combinées pour réaliser la dépollution.

Le traitement des terres polluées peut se réaliser de différentes manières (Colombano *et al.*, 2010) :

- Hors site (la terre polluée est excavée et traitée dans un centre de traitement adapté). Cette méthode provoque un coût environnemental correspondant au transport des terres vers le centre de traitement. Le site devra aussi être remis en état après l'excavation.
- Sur site (la terre polluée est aussi excavée, mais le traitement se fait sur le site).
- En place (la terre n'est pas excavée et elle est traitée sur place). Cette méthode n'impacte pas les horizons des sols en les mélangeant, car les sols ne sont pas excavés. Les sites subissant ce procédé ne nécessiteront pas de remise en état, puisque le sol est encore en place. Ce procédé est plus lent que les autres et d'efficacité parfois moins bonne car agit dans le milieu naturel.
- Confinement (la terre n'est pas traitée, en revanche les polluants sont bloqués pour qu'ils ne se répandent pas). Cette méthode ne réalise pas de dépollution, mais empêche juste les polluants de contaminer d'autres milieux. Cette méthode ne va donc pas dans le sens de la désartificialisation, puisque ne contribue pas à rendre le site naturel.

Les techniques de dépollution des sols peuvent être classées selon leur nature (Colombano *et al.*, 2010) :

- **Physique** : une circulation d'un fluide dans le sol pollué permet de transporter les polluants pour qu'ils soient évacués. Le fluide chargé en polluants doit ensuite être traité.
- **Chimique** : des réactions chimiques avec les polluants permettent de les détruire, les rendre inertes ou les séparer du milieu. Les procédés chimiques peuvent toutefois avoir des impacts négatifs sur les propriétés chimiques, physiques et biologiques des sols. De plus, certains produits utilisés peuvent être nocifs pour l'environnement.
- **Thermique** : la chaleur peut détruire certains polluants, les isoler ou les rendre inertes. La chaleur utilisée dans ce traitement assèche les sols et détruit les organismes vivants dans les sols, ainsi que la végétation présente sur le sol.
- **Biologique** : l'utilisation de micro-organismes, de champignons et de végétaux peut aider à dégrader, fixer ou solubiliser certains polluants. Seulement certains types de polluants peuvent être traités de cette manière. Les techniques biologiques sont en général bien acceptées par la société.

2.4.5. La reconstitution ou construction d'un sol pour recréer un sol fonctionnel

Un site sur lequel a été mené les étapes de déconstruction, désimperméabilisation et dépollution présente un sol plus ou moins dégradé (absence de certains horizons, compaction du sol, etc.), voire non fonctionnel. En effet, les couches superficielles des sols sont souvent retirées lors des aménagements, et des matériaux extérieurs ont pu être apportés. Pour qu'on puisse parler de désartificialisation, le sol doit être reconstitué ou construit.

La pédogénèse naturelle se faisant sur des temps très longs, laisser en libre évolution le site en l'attente d'une formation de sols n'aboutirait pas à l'échelle humaine. Dans une optique de ZAN, où l'on cherche avant tout à restaurer les sols et leurs fonctions pour la biodiversité, il est nécessaire d'avoir une action anthropique dans la volonté de former un sol fonctionnel, pour que la désartificialisation soit aboutie et que les sols permettent l'accueil de biodiversité et la réalisation de fonctions.

Plusieurs méthodes existent pour reconstituer des sols, dont les résultats varient en efficacité. La question de la méthode à appliquer se pose puisqu'elle peut varier en fonction de l'utilisation finale du site concerné. Pour que la stratégie pédologique soit en adéquation avec le projet, il faut mettre en relation les études documentaires et les études de terrain avec les objectifs d'aménagement (Thomas, 2020).

Les techniques les plus courantes sont celles qui consistent en l'apport de terre végétale (Bacholle *et al.*, 2005). On parle alors d'**anthroposol reconstitué**. La terre végétale correspond à la terre naturelle provenant de la couche superficielle d'un sol, provenant du décapage effectué sur un terrain avant l'installation d'une construction. Ces terres végétales sont parfois amendées de matières organiques et de composts, afin d'enrichir la terre. Cette méthode implique un déplacement de terre entre les zones qui s'artificialisent et produisent de la terre végétale et les zones qui se désartificialisent et ont besoin de terre végétale pour reconstituer ses sols. Il est cependant nécessaire de s'interroger sur cette méthode, qui n'incite pas à la préservation des sols et à la réduction des surfaces artificialisées. La question de la conservation de la qualité des sols lors du déplacement de terre végétale d'un site se pose aussi.

Il est aussi possible d'utiliser des matériaux minéraux issus de la déconstruction ou de la désimperméabilisation comme substrat, dans lesquels une partie organique est ajoutée (Capeau, 2020). Pruvost *et al.* (2020) ont montré que la croissance de certaines essences d'arbres sur un sol constitué de remblai, de béton concassé et de compost de déchet vert est comparable à leur croissance citée dans la littérature.

D'autres techniques de fabrication de sols fonctionnels existent. La technique de construction des technosols développée par Séré (2007) utilise des déchets et sous-produits présents sur un territoire, dans une logique d'économie circulaire. On parle alors de **technosol ou anthroposol construit**. Cette technique s'appuie sur la valorisation de différents matériaux disponibles (p. ex. les terres industrielles traitées, les sous-produits papetiers, le compost de déchets verts, etc.), positionnés en horizons, associant à la fois un substrat minéral et un substrat organique. Ces technosols fertiles ont un fonctionnement comparable aux sols naturels après un temps très court (1 an) et peuvent remplir les fonctions de support de végétation, de biodiversité et de rétention en eau (Séré, 2007).

Ces techniques étant récentes, il manque aujourd'hui des retours d'expérience quant à leur efficacité. Bien que les micro-organismes soient abondants et diversifiés au moment de leur recolonisation du sol, le maintien de ces espèces dans le temps reste incertain (Ranjard, 2020).

Concernant la technique de construction de sols, les coûts de mise en place sont conséquents, pouvant aller de 33 à 55 €/m² selon une estimation (Fosse *et al.*, 2019), ce qui questionne la surface sur laquelle la construction de sol sera réellement réalisée et si ces surfaces pourront être égales aux surfaces artificialisées pour atteindre le ZAN.

2.4.6. La renaturation, dernière étape de la désartificialisation pour permettre l'installation de la végétation

La renaturation peut être définie comme étant une « *intervention visant à réhabiliter un milieu plus ou moins artificialisé vers un état proche de son état naturel d'origine ou tendant vers cet état* » (IAU Île-de-France, 2016). A ce stade de la désartificialisation, la dernière étape restante à la renaturation est l'installation de la végétation sur le site.

Si le site a pour vocation d'être rendu à la nature, il n'y a pas forcément de nécessité à le renaturer, puisqu'une végétation spontanée¹¹ peut s'implanter. La végétation spontanée s'installe à la fois à partir de la banque de graines présente dans le sol et par apport de graines des espaces environnants (par les animaux, le vent, l'eau, etc.). La présence de sites naturels à proximité est donc importante pour permettre une diversité de graines sur le site. Il doit être intégré au sein d'un réseau d'espaces naturels permettant l'apport de graines. Par exemple, un site situé en pleine ville est susceptible de mettre beaucoup plus de temps pour se végétaliser spontanément, car il sera loin d'espaces naturels pourvoyeurs de graines. La diversité floristique des friches est ainsi plus forte si des espaces verts sont présents dans un rayon de 200 m (Muratet, 2011). La végétalisation spontanée présente des avantages, comme celui de permettre une installation par des plantes locales contenant une génétique locale, adaptée au contexte et conditions hydrique et thermique du site. Les sites de friches, supposés végétalisés de manière spontanée, présentent plus de richesse spécifique¹² que des sites gérés, comme les squares, en Seine-Saint-Denis (Shwartz, 2011). La végétalisation spontanée représente aussi un plus faible coût par rapport à une végétalisation par l'Homme, car aucune action de plantation ou de semi n'est requise.

Il est cependant nécessaire de prendre en compte la possible colonisation d'un site par des espèces exotiques envahissantes (EEE). Elles peuvent être compétitives envers les autres espèces en prenant leurs ressources alimentaires ou en étant des prédatrices des espèces indigènes. Les EEE peuvent aussi recouvrir une part importante d'un écosystème et donc banaliser le milieu, empêchant d'autres espèces de s'y installer. Elles peuvent poser des problèmes importants à la végétalisation spontanée d'un site, car elles s'installent particulièrement bien sur les terrains de sols nus. Par exemple, Muratet (2011) montre que les friches semblent plus favorables à l'installation d'espèces exotiques. Il s'agit alors de trouver un équilibre entre la volonté de laisser la végétation spontanée s'installer, et l'implantation d'espèces exotiques envahissantes, néfastes pour le milieu et la biodiversité.

Si le site a vocation à être fréquenté par l'être humain, le recours à la végétation spontanée n'est pas forcément la solution la plus pertinente. La renaturation est alors nécessaire pour pouvoir accueillir des activités humaines. Dans ce cas, la volonté que ce lieu réponde à un usage récréatif (sport, promenade, etc.) et fournisse des bénéfices (pour le bien-être physique et moral) implique une réflexion sur la manière de concevoir l'espace.

La végétalisation volontaire désigne une action d'introduction d'espèces floristiques, visant à renforcer ou recréer un espace naturel dénaturé par l'action anthropique ou par des catastrophes naturelles. La végétalisation permet d'accélérer le processus de renaturation d'un site par l'action de l'être humain sur le site. Il s'agit alors de privilégier les espèces indigènes, dont les exigences écologiques correspondent avec le milieu concerné, et si possible de génétique locale, pour favoriser l'adaptation des espèces.

Finalement, les coûts pour effectuer les différentes étapes de la désartificialisation sont élevés. Le rapport de France Stratégie sur le ZAN avance un coût total de la désartificialisation (déconstruction, dépollution, désimperméabilisation et construction de technosol) de 160 à 455 €/m² (Fosse *et al.*, 2019). Il faut en plus de cela rajouter le coût de la renaturation si celle-ci est nécessaire et le prix du foncier sur lequel sont effectuées les opérations. En comparaison, la construction d'une maison neuve coûtait en moyenne 1 438 €/m² en 2018 (sans compter le prix du terrain) (CGDD, 2019). Dans une logique de devoir désartificialiser une surface égale, le coût d'une maison se construisant sur un espace non artificialisé pourrait augmenter de 11 à 32 % pour y intégrer le coût de la désartificialisation nécessaire (sans compter le prix des terrains). Ces chiffres montrent que le coût important de la désartificialisation peut inciter à avoir recours aux mesures d'évitement et de réduction au lieu de faire de la désartificialisation. Ce surcoût peut toutefois être absorbé par les bénéfices environnementaux, sociaux

¹¹ Végétation qui s'installe et croît par elle-même sans intervention de l'être humain.

¹² Nombre d'espèces dans un milieu donné .

et économiques apportés par la désartificialisation de la friche : diminution du coût de traitement des eaux, création d'un espace vert, etc. (Ademe *et al.*, 2020).

2.5. Les leviers à mobiliser pour aider la réalisation de l'évitement, réduction et compensation de l'artificialisation

Aujourd'hui de nombreux freins entravent la réalisation des mesures pour éviter, réduire et désartificialiser. Il est alors nécessaire de surmonter ces freins en actionnant plusieurs leviers, tels que la planification du territoire ou encore l'organisation des acteurs autour de l'application de ZAN.

2.5.1. La planification du territoire pour anticiper les changements de territoire et les impacts sur la biodiversité

La planification du territoire est en mesure d'agir en faveur de la lutte contre l'artificialisation, en anticipant et en organisant les changements à venir sur le territoire. Il s'agira de définir, à l'échelle du territoire couvert par le document d'urbanisme, les espaces à sanctuariser, les espaces ouverts à l'artificialisation (dans une logique de réduction des impacts sur la biodiversité) (*cf.* partie 2.3.2) et les espaces qui pourraient faire l'objet d'une désartificialisation. Dans la même logique, les documents d'urbanisme pourraient identifier et inventorier le foncier et le bâti qui pourraient être réutilisés.

Le **SRADDET** (Schéma régional d'aménagement, de développement durable et d'égalité des territoires), élaboré à l'échelle régionale, doit fixer les objectifs de moyen et long termes, dont ceux liés à la gestion économe de l'espace et à la protection et restauration de la biodiversité (Article L4251-1 du Code général des collectivités territoriales).

Le **SCoT** (Schéma de cohérence territoriale) est un document d'urbanisme produit à l'échelle de plusieurs communes ou d'un groupement de communes. Il doit être compatible avec le SRADDET, c'est-à-dire qu'il doit prendre en compte et intégrer les différents objectifs énoncés par celui-ci. Le SCoT possède un document d'orientation et d'objectifs (DOO) qui permet de prendre certaines mesures en termes de gestion économe de l'espace et en faveur de la protection des espaces agricoles et naturels :

- Le DOO « *arrête, par secteur géographique, des objectifs chiffrés de consommation économe de l'espace et de lutte contre l'étalement urbain* » (Article L141-6 du Code de l'urbanisme).
- Le DOO « *peut, dans des secteurs qu'il délimite [...], déterminer la valeur au-dessous de laquelle ne peut être fixée la densité maximale de construction résultant de l'application de l'ensemble des règles définies par le plan local d'urbanisme ou du document en tenant lieu* » (Article L141-7 du Code de l'urbanisme). Cette mesure permet de faire en sorte que les PLU et PLUi ne fixent pas des valeurs maximales de densité trop faibles.
- Le DOO « *peut, sous réserve d'une justification particulière, définir des secteurs, situés à proximité des transports collectifs existants ou programmés, dans lesquels les plans locaux d'urbanisme doivent imposer une densité minimale de construction* » (Article L141-8 du Code de l'urbanisme).
- Le DOO « *peut, en fonction des circonstances locales, imposer préalablement à toute ouverture à l'urbanisation d'un secteur nouveau : [...] L'utilisation de terrains situés en zone urbanisée [...]; La réalisation d'une étude de densification des zones déjà urbanisées* ». (Article L141-9 du Code de l'urbanisme).

- Le DOO « *détermine : Les espaces et sites naturels, agricoles, forestiers ou urbains à protéger dont il peut définir la **localisation** ou la **délimitation*** » (Article L141-10 du Code de l'urbanisme).

Le **PLU** ou **PLUi** (Plan local d'urbanisme, Plan local d'urbanisme intercommunal) est un document d'urbanisme utilisé à l'échelle communale ou intercommunale. Les PLU et PLUi doivent être compatibles avec le SCoT. Les PLU et PLUi peuvent prendre les mesures suivantes, favorisant la lutte contre la consommation de foncier :

- Le rapport de présentation du PLU doit présenter une analyse de la consommation des ENAF des 10 années passées et une analyse de la capacité de densification des espaces bâtis. De plus, il expose les mesures pour la densification et la limitation de la consommation des ENAF (Article L151-4 du Code de l'urbanisme).
- Le PADD (Projet d'aménagement et de développement durables) « *fixe des **objectifs chiffrés de modération de la consommation de l'espace et de lutte contre l'étalement urbain*** » (Article L151-5 du Code de l'urbanisme).
- Dans le règlement du PLU ou PLUi se trouvent des documents graphiques qui réalisent un zonage des parcelles du territoire, en zones U (urbaines), AU (à urbaniser), N (naturelles ou forestières) ou A (agricoles). Les zonages A et N sont inconstructible (sauf exceptions) et constituent un moyen pour empêcher les constructions sur certains espaces.
- Le règlement « *délimite les zones urbaines ou à urbaniser et les zones naturelles ou agricoles et forestières à protéger* » (Article L151-9 du Code de l'urbanisme).
- Le règlement « *peut identifier et localiser les éléments de paysage et délimiter les sites et secteurs à protéger pour des motifs d'ordre écologique, notamment pour la préservation, le maintien ou la remise en état des continuités écologiques et définir, le cas échéant, les prescriptions de nature à assurer leur préservation [...]* » (Article L151-23 du Code de l'urbanisme).
- Le règlement « *peut localiser, dans les zones urbaines, les terrains cultivés et les espaces non bâtis nécessaires au maintien des continuités écologiques à protéger et inconstructibles quels que soient les équipements qui, le cas échéant, les desservent* » (Article L151-23 du Code de l'urbanisme). Cette mesure peut être intéressante afin de conserver en ville les espaces utiles aux continuités écologiques.
- Le règlement « *peut imposer, dans des secteurs qu'il délimite au sein des secteurs situés à proximité des transports collectifs, existants ou programmés, une **densité minimale de constructions*** » (Article L151-26 du Code de l'urbanisme).
- Les OAP (Orientations d'aménagement et de programmation) « *peuvent notamment définir les actions et opérations nécessaires pour mettre en valeur l'environnement, notamment les continuités écologiques, les paysages, [...] **permettre le renouvellement urbain, favoriser la densification** [...]* » (Article L151-7 I 1° du Code de l'urbanisme).

Le fait que chaque document doit être compatible avec celui réalisé à une échelle supérieure assure que les orientations régionales se déclinent bien à l'échelle locale. Cependant, un travail d'harmonisation est nécessaire entre les documents d'urbanisme pour réellement prendre en compte les échelons supérieurs.

Les différents documents d'urbanisme, utilisés à bon escient, auraient une grande capacité à lutter contre la consommation d'espaces. Au lieu d'avoir une approche projet par projet pour lutter contre l'artificialisation, ils permettent d'avoir une approche globale sur un territoire, qui pourrait alors être organisée en identifiant les zones à protéger et les zones à urbaniser.

À cet égard, les Sites naturels de compensation, qui permettent de mutualiser les mesures compensatoires des projets d'un territoire sur un même site pour plus de cohérence écologique, sont des outils pertinents qui pourraient évoluer vers davantage de désartificialisation, pour compléter la

compensation écologique de la séquence ERC souvent effectuée sur des espaces d'ores et déjà agricoles ou naturels.

2.5.2. Les rôles des différents acteurs dans l'atteinte de zéro artificialisation nette

Un autre levier intéressant à développer est la gouvernance pour permettre la réalisation de l'objectif de ZAN. Afin d'organiser les acteurs autour de l'objectif de ZAN, il est essentiel de comprendre quels sont les rôles de chacun. L'analyse des entretiens réalisés avec les différents spécialistes nous a permis de distinguer quatre grands axes qui nécessitent d'être développés pour rendre opérationnel l'objectif de ZAN :

- Définir ce qu'est ZAN ;
- Développer les leviers permettant d'atteindre ZAN ;
- Mettre en œuvre de manière opérationnelle ZAN ;
- S'assurer de l'acceptabilité des mesures pour atteindre ZAN.

Les entretiens nous ont permis d'identifier quels sont les acteurs ayant un rôle à jouer dans l'atteinte de ZAN et quels sont les rôles de chacun dans l'atteinte de cet objectif.

La FIGURE 9 représente les rôles de chaque acteur dans l'atteinte de l'objectif de ZAN.

La définition de l'objectif de ZAN, commanditée par l'État, revient aux établissements et institutions publics (Ademe, Cerema, France Stratégie, etc.) compétents en matière d'artificialisation et légitimes pour se positionner sur le sujet. Le Cerema, en pilotant l'Observatoire de l'artificialisation des sols, produit des données sur le sujet. D'autres organismes, comme l'Institut Paris Région ou l'IDDRI, sont aussi compétents pour produire des connaissances sur l'artificialisation et donner des avis.

Les leviers à mettre en place pour aider à l'atteinte de l'objectif de ZAN doivent être développés et appliqués par différents acteurs. La planification du territoire doit être réalisée à l'échelle du territoire local et régional, et sa réalisation accompagnée par des bureaux d'étude. Les décideurs publics (État, Régions, départements et collectivités territoriales) doivent s'organiser pour développer des systèmes de fiscalité et des financements en faveur de la lutte contre l'artificialisation.

La mise en œuvre opérationnelle de l'objectif de ZAN revient aux acteurs de la construction (producteurs de matériaux, entreprises de constructions, commanditaires des opérations), ceux-ci devant être accompagnés tout le long de la démarche par des bureaux d'études en pédologie, écologie et urbanisme, afin de s'assurer de l'application des mesures pour ne pas impacter les sols.

La lutte contre l'artificialisation doit être acceptée par tous les acteurs étant concernés par cet enjeu (usagers, élus locaux, acteurs de la construction). Les acteurs de la sensibilisation peuvent être des fédérations pouvant mener des actions pour sensibiliser dans certains secteurs d'activités, ou encore des associations de protection de l'environnement.

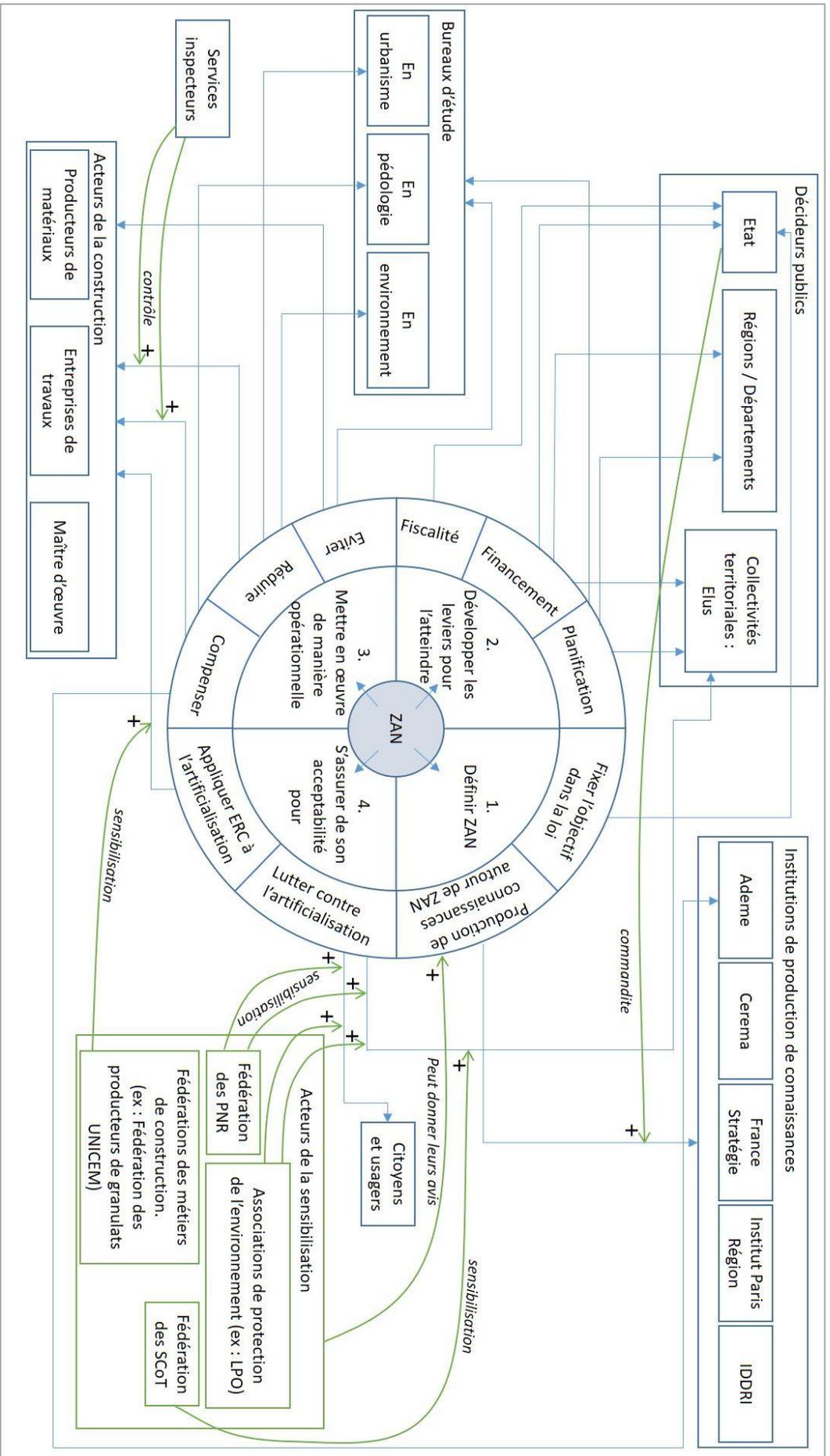


Figure 9 : Rôles de chaque acteur dans la réalisation de l'objectif de ZAN.
 Cercles : grands axes sur lesquels travailler pour atteindre ZAN ; Rectangles : types d'acteurs ; Flèches bleues : l'action qui doit être réalisée par l'acteur ; Flèche verte : opération pour favoriser la réalisation des actions des flèches bleues.

3. Discussions autour de l'atteinte de l'objectif de zéro artificialisation nette

La partie précédente s'est attelée à proposer des mesures pour appliquer la séquence ERC à l'artificialisation afin de prendre en compte les sols, leurs fonctions et la biodiversité. Cette proposition est toutefois à débattre sous plusieurs angles, quant à sa réelle contribution à la préservation de la biodiversité, à la pertinence de choisir la séquence ERC pour traiter le problème de l'artificialisation, à l'acceptabilité de la proposition par les différents acteurs concernés par ZAN, et à la manière dont ZAN sera appliqué.

3.1. Discussions sur la réelle participation des mesures pour lutter contre l'artificialisation à la préservation de la biodiversité

3.1.1. Les limites écologiques de l'évitement et de la réduction

Les mesures d'évitement et de réduction proposées dans les parties précédentes ne sont pas forcément compatibles avec les enjeux de biodiversité.

La volonté de vouloir densifier les villes peut être incompatible avec la présence de biodiversité. Malgré la présence de l'être humain, les villes peuvent comporter des éléments de biodiversité et de ce fait il faut éviter de construire ou densifier sur les espaces qui ont un certain intérêt pour la biodiversité :

- **Les trames vertes et bleues** constituent des corridors servant d'axe de déplacement pour les espèces et de zones réservoirs pour accueillir des espèces. Ces éléments des TVB sont aussi présents en ville (jardins des maisons, espaces verts, cours d'eau). Vouloir densifier au sein des villes, en utilisant les espaces non utilisés, comme les dents creuses ou les jardins, est un risque de détruire des éléments de cette TVB. C'est pourquoi l'identification des TVB au sein des villes est nécessaire pour pouvoir prendre ses éléments en compte.
- De nombreuses espèces, qui voient leurs habitats naturels détruits, sont contraints d'utiliser en ville des **habitats de substitution**. C'est par exemple le cas du faucon pèlerin qui peut s'installer et nicher en ville sur les bâtiments (Morin *et al.*, 2017), à défaut des falaises, montagnes, campagnes qui sont normalement son habitat naturel. De même, certaines espèces de chauves-souris peuvent s'installer dans des ruines de bâtiments ou greniers. Il ne faut pas penser que construire au sein de l'enveloppe urbaine n'aura pas d'impact sur les espèces. Certaines précautions écologiques seront donc à prendre avant de réhabiliter un bâtiment.
- La question de l'**utilisation des friches** est souvent compliquée, puisqu'il faut souvent se demander ce qui est le plus pertinent à réaliser sur une friche donnée : il est possible de laisser la friche telle quelle est, d'y faire du renouvellement urbain (réutilisation de bâtiment ou du foncier artificialisé) (sujets abordés dans la partie 2.2.4) ou de choisir de la désartificialiser dans le cadre de ZAN. Cette multiplication des usages possibles sur une friche rend compliqué le choix de son utilisation future. Cependant, sur une même friche, plusieurs opérations peuvent être réalisées pour diversifier les usages. Il est totalement envisageable de construire un nouveau lotissement dense sur une partie de la friche et de désartificialiser une autre partie pour en faire un espace naturel. Toutefois, les choix devront toujours être faits après une étude écologique sur le site pour raisonner en fonction de la valeur écologique du site.

3.1.2. Les limites écologiques de la désartificialisation

La reconstitution ou construction de sols est une méthode qui peut permettre, dans certains cas, de rendre à un sol des fonctions, comparables à un sol naturel. Cependant, d'un point de vue pédologique, le sol reconstitué ou construit et ses caractéristiques sont loin d'être identiques en tous points au sol naturel qui a été détruit. Les caractéristiques physiques (texture, structure), chimiques (pH, teneur en nutriments), et biologiques (micro et macro-organismes du sols) sont propres à chaque sol, de sorte que ces caractéristiques ne sont pas reproductibles par création de sol. Béchet *et al.* (2019) signalent bien que les sols réhabilités peuvent avoir des impacts positifs sur la biodiversité des sols, mais que ceci ne signifie pas que l'écosystème final correspond à celui qui été détruit. Ainsi, la phase de reconstitution ou de construction de sol ne fait que créer un substitut de sol capable d'effectuer ses fonctions, sans pour autant reproduire un sol naturel, identique à celui qui a été détruit. Il est donc d'autant plus important de se focaliser sur la préservation des sols existants, en appliquant des mesures d'évitement et de réduction.

L'introduction du terme de désartificialisation, comme dernière composante pour atteindre le ZAN, suggère que les espaces artificialisés sont potentiellement réversibles en espaces naturels identiques à leur état initial et que la désartificialisation peut être vue comme une compensation à l'artificialisation pour recréer les sols et les fonctions. Par conséquent, l'expression zéro artificialisation nette porte à confusion et induit en erreur. Du point de vue des écologues, la compensation au sens strict est une aberration écologique : un milieu ne peut pas être reconstruit à l'identique par l'être humain, que ce soit pour les espèces présentes ou pour la qualité des sols. De cette façon, la désartificialisation, au sens de compensation à l'artificialisation qui prend en compte les sols, leurs fonctions et la biodiversité, ne peut pas exister. En désartificialisant un site, on ne peut que se rapprocher d'un état qui ressemble à l'état initial, mais pas d'un état identique.

La désartificialisation peut donc être considérée dans une approche anthropocentrée. À travers la désartificialisation, la volonté est de maintenir les services écosystémiques liés au sol, et en particulier le service hydrologique (régulation des inondations, diminution des ruissèlements, etc.).

Pour nuancer ces propos, la désartificialisation permet tout de même de recréer des espaces permettant d'accueillir de la biodiversité, en accord avec la vision commue du sol comme un support de vie des espèces. Le critère surfacique peut aussi être pris en compte pour égaliser la surface artificialisée avec la surface à désartificialiser.

3.2. Discussions sur la pertinence de l'application de la séquence ERC à l'artificialisation

3.2.1. Les problèmes actuels à l'application de la séquence ERC

Les constats montrent que la séquence ERC comporte actuellement des problèmes dans son application : elle ne permet pas l'atteinte de la non-perte nette de biodiversité, qui est pourtant l'objectif affiché dans la loi : « *ce principe doit viser un objectif d'absence de perte nette de biodiversité, voire tendre vers un gain de biodiversité* » (Article L110-1 du Code de l'environnement).

Il est alors nécessaire de questionner l'efficacité de la mise en œuvre de la séquence ERC à différents niveaux et d'identifier quelles sont les limites qui influent sur son efficacité à chaque étape. La FIGURE 10 détaille chaque étape de la perte de prise en compte de la biodiversité par la séquence ERC.

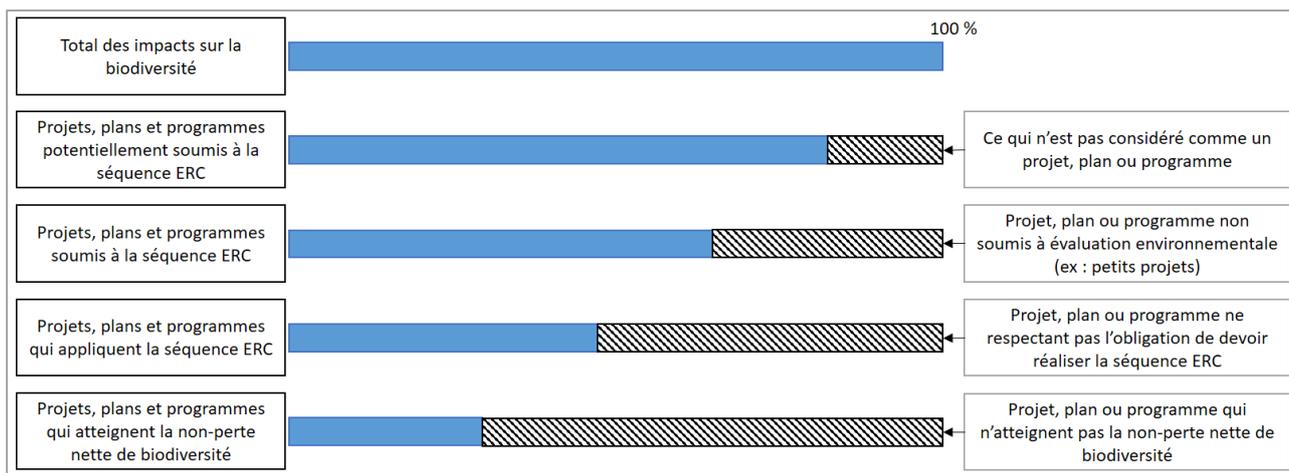


Figure 10 : Part de la biodiversité prise en compte par la séquence ERC. La perte de prise en compte de la biodiversité d'une étape à l'autre n'étant pas quantifiée, les pourcentages sont indiqués à titre indicatif.

Dans un premier temps, l'évaluation environnementale ne doit être réalisée que pour certains projets, plans et programmes, pour lesquels les structures concernées doivent réaliser une étude d'impact intégrant la séquence ERC. Les projets correspondent à « la réalisation de travaux de construction, d'installations ou d'ouvrages, ou d'autres interventions dans le milieu naturel ou le paysage, y compris celles destinées à l'exploitation des ressources du sol » (Article L122-1 du Code de l'environnement), et les plans et programmes sont « les plans, schémas, programmes et autres documents de planification élaborés ou adoptés par l'État, les collectivités territoriales ou leurs groupements et les établissements publics en dépendant, ainsi que leur modification, dès lors qu'ils sont prévus par des dispositions législatives ou réglementaires, y compris ceux cofinancés par l'Union européenne » (Article L122-4 du Code de l'environnement).

Dans un second temps, uniquement une partie des projets, plans et programmes doivent effectivement faire l'objet d'une évaluation environnementale et d'une mise en place de la séquence ERC, comme spécifié dans l'annexe de l'article R122-2 du code de l'environnement pour les projets et dans l'article R122-17 du code de l'environnement pour les plans et programmes. Ces textes précisent aussi quels projets, plans et programmes font l'objet d'un examen au cas par cas pour déterminer s'ils sont soumis à évaluation environnementale ou non, examen réalisé pour les plans et programmes par l'Autorité environnementale (Ae) ou les Missions régionales d'autorité environnementale (MRAe) et pour les projets par l'Ae ou les DREAL. De cette façon, les petits projets de construction (p. ex. les travaux et constructions qui créent une surface de plancher ou une emprise au sol inférieure à 10 000 m²) ne sont pas soumis à évaluation environnementale ; d'autres projets considérés comme intermédiaires (p. ex. les travaux et constructions qui créent une surface de plancher ou une emprise au sol comprise entre 10 000 et 40 000 m²) font l'objet d'un examen au cas par cas, et ainsi certains ne sont pas soumis à évaluation environnementale. De même, certains plans ou programmes ne sont pas soumis à évaluation environnementale. Parmi les plans et programmes faisant l'objet d'un examen au cas par cas, l'Ae et les MRAe ont soumis à évaluation environnementale 368 dossiers sur 2894 en 2018 (soit environ 13 %). Parmi eux, les PLU, qui correspondent à 60 % des dossiers, ne sont soumis à évaluation environnementale après examen au cas par cas qu'à 14 %. Pour les projets, l'Ae¹³ a soumis à évaluation environnementale 41 % des 89 projets faisant l'objet d'un examen au cas par cas (Ae et MRAe, 2018).

¹³ En 2018, les MRAe n'étaient pas compétentes pour les décisions d'examen au cas par cas pour les projets.

La multiplication de petits projets provoque pourtant du mitage (Fosse *et al.*, 2019) et participe activement à la fragmentation des habitats et à la perte d'intégrité écologique. L'addition de tous ces petits projets représente finalement une surface conséquente non-prise en compte par la séquence ERC, car étant en dessous des seuils de prise en compte par la séquence ERC.

Dans un troisième temps, au-delà de la réglementation elle-même, une problématique importante concerne l'application de la loi. Parmi tous les projets plans et programmes soumis à évaluation environnementale, seulement une partie d'entre eux font réellement l'objet d'une évaluation environnementale et donc d'une application de la séquence ERC. En effet, l'Ae et les MRAe, dans leur synthèse annuelle de 2018, signalent que la séquence ERC reste mal mise en place au sein de ces évaluations environnementales, c'est par exemple le cas pour de nombreux plans et programmes (Ae et MRAe, 2018). En plus de ces projets, plans et programmes, on peut supposer que d'autres ne réalisent pas du tout d'évaluation environnementale.

Enfin, dans un quatrième temps, parmi les projets, plans et programmes qui appliquent la séquence ERC, seule une partie atteint effectivement la non-perte nette de biodiversité. Selon une étude du Muséum national d'Histoire naturelle, 81 % des mesures compensatoires sont effectuées sur des espaces semi-naturels (Weissgerber *et al.*, 2019), pour lesquelles il est raisonnable de questionner les réels gains écologiques engendrés. Effectuer une compensation sur un milieu semi-naturel (peu dégradé) apporte en général une plus-value en termes de biodiversité moindre que si la compensation était effectuée sur un milieu fortement dégradé. Une compensation à forts gains écologiques devrait se situer sur un site à fort potentiel écologique¹⁴ dont l'état actuel serait dégradé.

Au total, les impacts sur la biodiversité qui sont pris en compte par la séquence ERC et qui atteignent la non-perte nette de biodiversité sont très peu nombreux.

Les nombreux problèmes liés à l'application de la séquence ERC menant à une perte de biodiversité résident dans le faible nombre de contrôle des mesures, la difficulté d'obtenir du foncier disponible pour mener les mesures compensatoires, le faible apport écologique de certaines mesures compensatoires, la difficulté d'évaluer l'équivalence écologique, etc.

3.2.2. Les problèmes engendrés par l'application de la séquence ERC à l'artificialisation

La séquence ERC ne permettant pas l'atteinte de la non-perte nette de biodiversité pour les espèces protégées, il paraît hasardeux de penser, dans la volonté d'intégrer l'artificialisation au sein des études d'impact et de la séquence ERC, que le ZAN serait atteint. En effet, les problèmes liés à l'application de la séquence ERC pour les espèces protégées seraient aussi présents pour l'application de la séquence ERC à l'artificialisation.

À l'instar de la séquence ERC où la phase d'évitement est souvent oubliée et non appliquée pour concentrer l'effort sur la compensation écologique, le risque du ZAN serait que l'aménageur se focalise sur la désartificialisation au lieu de travailler sur les moyens pour éviter l'artificialisation. En effet, une étude de Bigard *et al.* (2018) montre que dans la séquence ERC actuellement appliquée, seulement 1 % des mesures des études d'impact correspondent à du réel évitement.

De plus, les seuils à partir desquels les projets sont soumis à la séquence ERC sont élevés. Dans la pratique, la séquence ERC ne s'applique qu'aux grands projets : les maisons individuelles sont d'une surface trop petite pour devoir la réaliser. Ce sont pourtant les projets d'artificialisation réalisés en

¹⁴ Le potentiel écologique d'un site correspond à l'importance que ce site pourrait avoir pour la biodiversité.

mitage qui impactent le plus la biodiversité. Ces petits projets constitueraient de ce fait une artificialisation importante qui n'auraient pas l'obligation de réaliser la séquence ERC.

La volonté d'intégrer l'artificialisation comme une composante à prendre en compte dans la séquence ERC sous-entend qu'il faudrait lier la compensation écologique avec la compensation de l'artificialisation. Lier les deux compensations impliquerait que les sites concernés par la compensation présenteraient à la fois la potentialité de compenser la biodiversité (en particulier les espèces protégées) et l'artificialisation. Dans la pratique, trouver ce genre de sites paraît compliqué, au vu de la difficulté déjà existante à trouver des sites pour la compensation écologique uniquement (Capeau, 2020). D'autre part, l'étude de Weissgerber *et al.* (2019), qui a montré que seulement 3 % des mesures compensatoires étudiées étaient réalisées sur des espaces artificialisés, expose bien la démarche actuelle qui n'est pas d'effectuer la compensation sur des zones artificialisées et la difficulté qu'il y aurait de trouver des espaces artificialisés sur lesquels effectuer les mesures.

Étant donné que l'application de la séquence ERC est d'ores et déjà problématique, il apparaît complexe d'appliquer cette séquence à l'objectif de ZAN. Pour que l'objectif de ZAN ait une possibilité d'être réalisé en au sein de la séquence ERC, celle-ci devrait être mieux appliquée.

3.3. Discussions sur l'acceptabilité des différents acteurs

3.3.1. L'acceptabilité des acteurs pour l'application de la séquence ERC à l'artificialisation

L'acceptabilité est un enjeu important pour l'application de la séquence ERC à l'artificialisation, celle-ci étant d'ores et déjà perçue comme contraignante pour les aménageurs. Il existe alors des avis divergents concernant l'application de la séquence ERC à l'objectif de ZAN. Les différentes informations qui suivent ressortent des entretiens effectués avec les acteurs concernés par la problématique de ZAN (liste des entretiens réalisés en Annexe 1).

Le premier groupe d'acteurs se positionnant sur cette question sont les acteurs qui pensent que la séquence ERC doit s'appliquer à l'artificialisation. L'argument principal qui se dessine pour justifier cette proposition est que la séquence ERC, dans l'esprit de la loi de 1976, est censé s'appliquer à tous les impacts sur l'environnement. Ces acteurs de ce groupe sont les écologues, pédologues et politiques. Pour certains écologues, dont la protection de la biodiversité est le maître-mot, les sols ressortent comme faisant partie de la biodiversité à protéger. Ces acteurs sont toutefois conscients des difficultés qui émergeraient à vouloir appliquer ERC à l'artificialisation : la non-disponibilité des services instructeurs, qui sont déjà débordés par la séquence ERC actuelle ; les seuils de prise en compte des projets dans la séquence ERC, qui ne sont pas adaptés à la problématique de l'artificialisation ; les lobbies d'entreprises, qui pourraient être contre cette proposition ; les difficultés techniques à appliquer de manière opérationnelle cette proposition ; les difficultés réglementaires au fait que la séquence ERC n'est pas actuellement faite pour s'appliquer à l'artificialisation ; la non-prise en compte des sols dans les études d'impact actuelles. Malgré ces difficultés d'application, ces acteurs continuent de penser que la prise en compte de l'artificialisation dans la séquence ERC est la meilleure manière pour rendre ZAN opérationnel.

Pour d'autres acteurs, le ZAN ne devrait pas s'appliquer au sein de la séquence ERC, en appuyant leurs propos sur les difficultés de l'application sur le terrain. Ils sont conscients de la difficulté actuelle de mettre en place la compensation écologique et sont convaincus de l'impossibilité de la lier avec la compensation de l'artificialisation (qui nécessiterait de trouver des terrains à la fois aptes à compenser les espèces protégées et l'artificialisation).

D'autres acteurs, en exposant que l'objectif de ZAN relève de l'organisation du territoire, proposent que l'objectif de ZAN soit intégré dans la planification du territoire. La séquence ERC s'applique beaucoup dans la pratique aux projets, alors que l'objectif de ZAN, qui relève de l'organisation du territoire, devrait se faire au niveau des plans, et non des projets. Les documents d'urbanismes, tel les SCoT et les PLU/PLUi, sont des leviers pour permettre de lutter contre l'artificialisation (cf. partie 2.5.1). Cette planification ne peut pas répondre seule à la question de ZAN et doit être accompagnée d'autres actions, telles que la fiscalité en faveur du ZAN.

3.3.2. L'acceptabilité des acteurs pour la nécessité de lutter contre l'artificialisation

Dans un second temps, il peut être intéressant de voir si les différents types d'acteurs sont conscients et se sentent concernés par les enjeux de l'artificialisation.

Il est nécessaire de considérer l'acceptabilité des citoyens envers la lutte contre l'artificialisation, puisque ce sont les usagers des bâtiments pour le logement ou les activités. La crise sanitaire de l'année 2020, liée à la Covid-19, a révélé la volonté des individus à vivre dans des maisons individuelles. Cette volonté est en opposition avec la trajectoire que devrait prendre l'artificialisation pour atteindre ZAN. Une sensibilisation envers les citoyens est donc nécessaire, pour les informer sur les enjeux de l'artificialisation. La sensibilisation des usagers peut se réaliser par l'apport de connaissances, sans que l'individu ait à faire la démarche d'aller la chercher lui-même (panneaux d'information, communications dans les journaux locaux, flyers, etc.), par incitation à participer à des événements (visite de terrain, conférence d'experts, retour d'expériences), ou par l'organisation de débats autour des thématiques de l'artificialisation en incitant les citoyens à participer activement (conseil de quartier, des ateliers participatifs, etc.).

L'acceptabilité des élus locaux envers l'artificialisation est aussi intéressante à discuter, dans la mesure où ces acteurs ont la compétence d'aménagement du territoire et d'utilisation du foncier. Il est important de reconnaître le chemin déjà parcouru par les élus locaux : l'enjeu de gestion économe du foncier est un sujet déjà intégré par la plupart des élus ; l'étape suivante est la prise de conscience de la problématique de l'artificialisation. Dans le cas des communes, les réflexions se portent actuellement sur la problématique de l'évitement et de la réduction dans une vision d'usage sobre du foncier, et non encore sur celle de la désartificialisation. La sensibilisation des collectivités et de leurs élus à l'élaboration de documents d'urbanisme intégrant des mesures pour lutter contre l'artificialisation peut prendre la forme d'un guide à destination des élus et décideurs, d'une formation des élus sur une journée sur le sujet de l'artificialisation, etc.

Quant aux aménageurs, il est aussi nécessaire de les sensibiliser aux enjeux de l'artificialisation, puisqu'ils sont les acteurs qui vont concevoir et réaliser les projets d'aménagement. Des formations en interne peuvent être réalisées pour les informer sur les pratiques plus ou moins vertueuses ayant des impacts sur les sols.

3.4. Discussions sur la définition de l'objectif de zéro artificialisation nette

Deux grandes inconnues encore présentes interrogent quant à l'atteinte de l'objectif de ZAN (outre la question de la définition de l'artificialisation, abordée dans la partie 1.1.1).

3.4.1. La nécessité de définir l'horizon temporel de l'atteinte de zéro artificialisation nette

Le plan biodiversité, qui introduisit pour la première fois en 2018 l'objectif de ZAN en France, présente dans son action 10 un horizon temporel d'atteinte du ZAN : « *Nous définirons, en concertation avec les parties prenantes, l'horizon temporel à retenir pour atteindre l'objectif « zéro artificialisation nette » et la trajectoire pour y parvenir progressivement* » (MTES, 2018). Pourtant, deux ans plus tard, ni l'horizon temporel ni la trajectoire n'ont été définis pour l'atteinte de l'objectif de ZAN.

Fosse *et al.* (2019), dans le rapport de France Stratégie, ont montré par une modélisation qu'un horizon temporel fixé à 2030 pourrait être proposé pour atteindre l'objectif de ZAN, sous réserve de prendre de fortes mesures d'actions, en particulier sur la densification de l'habitat. Un deuxième scénario, de densification modérée permettait une atteinte de l'objectif dès 2040. Cependant, aucune de ces dates n'a encore été fixée par l'État. Il est à noter que choisir une échéance proche incite à prendre des mesures immédiates contre l'artificialisation ; au contraire, choisir une date d'échéance lointaine crée le risque de remettre à plus tard la mise en place des mesures, quitte à ne pas du tout les mettre en place.

Pour la trajectoire d'atteinte du ZAN, il sera nécessaire de fixer des jalons intermédiaires afin de contrôler que la réduction de l'artificialisation est sur la bonne voie et de porter une attention particulière sur la manière dont cette trajectoire est définie. Par exemple, si un premier jalon dans l'atteinte de l'objectif est la réduction de 50 % de la surface artificialisée d'une année, il faut porter attention à la référence sur laquelle la réduction est calculée. Une réduction des surfaces artificialisées de 50 % par rapport à l'année la plus consommatrice d'espaces est un objectif peu contraignant, alors qu'une réduction de 50 % par rapport à l'année la moins consommatrice d'espace est un objectif plus dur à atteindre. La FIGURE 11 illustre cet exemple.

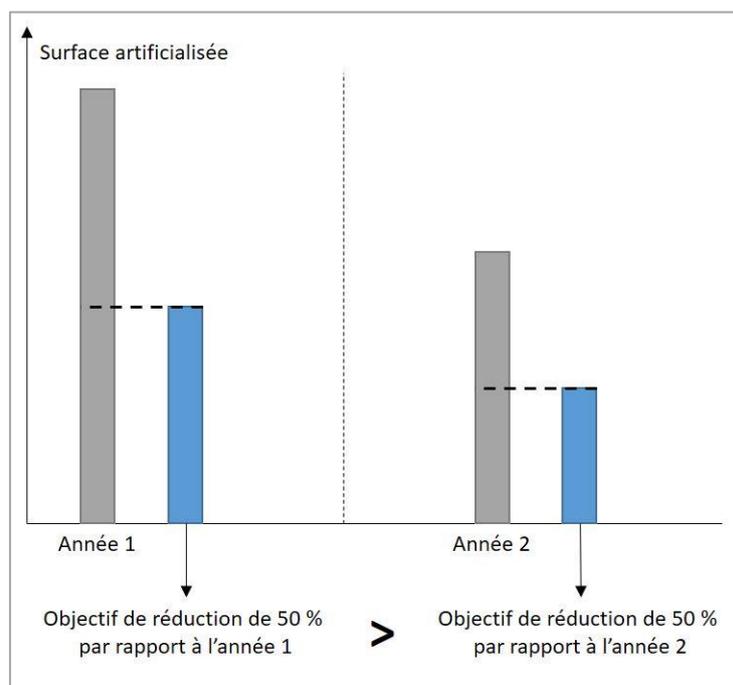


Figure 11 : Importance de la référence choisie dans le calcul des objectifs de réduction de surface artificialisée

La référence peut également se décliner à différentes échelles. Choisir une même année de référence pour tous les territoires pour calculer la baisse de surface artificialisée n'est pas forcément la solution la plus pertinente, les différents territoires n'étant pas dans la même dynamique d'artificialisation. Par exemple, imposer une réduction de 50 % de l'artificialisation à une commune déjà très vertueuse en consommation d'espace serait entraver son développement et au contraire favoriserait une commune très consommatrice d'espaces.

3.4.2. Le choix de l'échelle territoriale d'application de l'objectif de zéro artificialisation nette

Le deuxième grand manque dans la définition de l'objectif de ZAN est l'échelle territoriale sur laquelle il devrait être atteint. Sur quel territoire calcule-t-on que les sites désartificialisés atteignent une surface égale aux sites artificialisées et une qualité des sols comparable pour dire que l'objectif de ZAN est atteint ? Cherche-t-on à atteindre ZAN à l'échelle du territoire national, régional, départemental ou local ?

Un territoire trop grand pour mesurer l'atteinte de ZAN impliquerait que la compensation de l'artificialisation puisse se réaliser à une grande distance du lieu d'impact, ce qui serait un non-sens écologique, puisque la compensation serait bénéfique pour rendre des fonctions sur un territoire autre que celui qui les a perdues, pouvant creuser les inégalités entre territoires face au bénéfice des services écosystémiques. Au contraire un territoire trop petit pour mesurer l'atteinte de ZAN poserait des problèmes pour trouver des sites où réaliser la compensation, ce qui est actuellement le cas en Île-de-France.

L'échelle locale ne doit pas être la seule échelle pour appréhender le ZAN (Gass, 2020), la consommation du foncier ne se faisant pas que par les communes, mais également par les Régions ou l'État, porteuses de grands projets d'infrastructures, dont la consommation de foncier est comptée dans la consommation locale. La responsabilité de l'atteinte du ZAN ne doit donc pas uniquement reposer sur les communes.

Par conséquent, il faut trouver une échelle adéquate pour mesurer l'atteinte de l'objectif de ZAN, afin d'allier faisabilité et cohérence écologique.

3.5. Limites et discussions sur les méthodes employées dans le cadre de ce mémoire

Des critiques peuvent être portées sur la méthodologie employée pour réaliser ce mémoire.

Les entretiens réalisés visaient à rencontrer des acteurs pour récolter des informations sur des aspects divers de l'artificialisation, que ce soit en urbanisme, en pédologie, en planification du territoire, en réglementation de la séquence ERC, en fiscalité, etc. Face à la diversité des acteurs rencontrés, le choix a été de réaliser des entretiens semi-directifs ouverts portant sur des données qualitatives. Ce choix a permis de varier librement les questions d'un acteur à l'autre afin de s'adapter plus aisément à leur spécialité. Ces entretiens ont été menés à l'aide de grilles d'entretien adaptées liées à la profession de l'interviewé. Aucune partie introductive portant sur des questions générales n'a été réalisée en commun avec l'ensemble des acteurs rencontrés. Ainsi, il n'a pas été réalisé de réelle étude sociologique sur la perception des différents acteurs vis-à-vis du ZAN.

Nous avons essayé de rencontrer tout un panel de professions et spécialisation différentes, pour avoir toute la diversité des points de vue. Cependant, parmi notre échantillon, il est à mentionner que nous n'avons pas rencontré d'entreprises qui réalisent des aménagements, ni de juristes qui pourraient nous

éclairer sur la manière d'intégrer le ZAN dans la loi, ni de citoyens ou usagers pour avoir leurs perceptions sur l'artificialisation. L'étude réalisée a cependant permis de recueillir des avis variés sur cette thématique, permettant d'enrichir les réflexions portées sur le ZAN et la séquence ERC.

Conclusion

Grâce à une étude bibliographique des travaux existants sur le sujet de ZAN et des entretiens réalisés avec des experts de différents domaines, ce mémoire de stage propose une manière de mettre en place la lutte contre l'artificialisation afin d'atteindre l'objectif de ZAN. La séquence ERC pourrait être un outil qui permette de prendre en compte la problématique de l'artificialisation. De cette façon, intégrer l'artificialisation au sein de la séquence ERC apparaît comme étant une solution envisageable, d'autant plus que le Code de l'environnement a prévu la prise en compte des sols dans la séquence ERC.

Il nécessiterait dans un premier temps de régler dans la loi la manière dont l'artificialisation devrait être prise en compte : codifier une définition dans la loi, puis imposer la prise en compte des sols dans les études d'impact environnementales et l'obligation de prendre des mesures d'évitement, de réduction et de compensation pour toute artificialisation.

Il ressort des réflexions que les conditions pour atteindre l'objectif de ZAN vont bien au-delà de la manière dont il faudrait inscrire ZAN dans la loi. La question des leviers pour permettre une construction d'un cadre favorable à l'atteinte de cet objectif est fondamentale. Il est nécessaire de faire émerger une batterie de mesures et politiques publiques pour accompagner les différents acteurs dans la réalisation de l'objectif. Ainsi, définir un modèle économique est indispensable : il faudrait faire évoluer la fiscalité et les financements pour inciter les actions vertueuses de lutte contre l'artificialisation. La planification territoriale est elle aussi à faire évoluer pour permettre aux documents d'urbanismes de prendre des mesures fortes pour obliger à un usage sobre du foncier.

Toutefois, la question de la réelle participation de l'objectif de ZAN à la préservation de la biodiversité peut être posée étant donné les nombreuses limites soulevées dans ce rapport. Atteindre l'objectif de ZAN participerait sans aucun doute à la préservation de la biodiversité, mais le contexte actuel nous fait douter de la possibilité de l'atteinte de l'objectif : la séquence ERC actuelle n'est pas assez efficace pour permettre une prise en compte exhaustive des projets artificialisants, de sorte que certains projets n'y seraient pas soumis ; il ne faut pas envisager la désartificialisation comme une compensation complète aux impacts sur les sols. Cependant, si les mesures proposées dans ce mémoire étaient vraiment mises en œuvre et si une amélioration de la réalisation de la séquence ERC était faite, la participation de ZAN à la préservation de la biodiversité serait réelle.

Il peut être rappelé (d'après la partie 1.3), que l'artificialisation est un changement d'usage des sols qui ne représente lui-même que 30 % de l'impact global sur la biodiversité (Ichii *et al.*, 2019). À l'échelle de l'Europe et de l'Asie centrale, le changement d'usage des sols correspond aussi à la première pression sur la biodiversité. Il faut ainsi rester conscients que l'objectif de ZAN ne permet de s'attaquer qu'à une partie seulement de l'impact global sur la biodiversité, mais la plus conséquente sur le territoire.

Cependant, à l'échelle internationale, la Convention sur la Diversité Biologique (CBD) affiche, au sein de l'avant-projet zéro du Cadre mondial de la biodiversité pour l'après-2020, un objectif d'« aucune perte nette d'ici 2030 dans la superficie et l'intégrité des écosystèmes d'eau douce, marins et terrestres, et une augmentation d'au moins [20 %] d'ici 2050, assurant la résilience des écosystèmes » (CBD, 2020). Cet objectif, qui est d'ores et déjà discuté, sera présenté lors de la prochaine Conférence des Parties de la CBD qui devrait se tenir au printemps 2021 à Kunming, en Chine. Dans l'optique où le développement de nouveaux outils et la meilleure application de ceux existants actuellement seront nécessaires pour participer à cet objectif de non perte nette de biodiversité voire de gain net de biodiversité, l'objectif de ZAN et son application grâce à la séquence ERC ne peut être accueillie que favorablement.

Références bibliographiques

- Ademe (2015). Réussir la planification et l'aménagement durables, les cahiers techniques de l'AUE2, 4-Écosystèmes dans les territoires. 128p.
- Ademe (2018). Faire la ville dense, durable et désirable – Agir sur les formes urbaines pour répondre aux enjeux de l'étalement urbain, 72p.
- Ademe (Chateau, L.), ARCADIS (Piquant, M., Bestieu, A.), EFFICACITY (Cauchard, L., Serre, J.). (2020). Evaluer les bénéfices socio-économiques de la reconversion de friches pour lutter contre l'artificialisation – Outil BENEFRICHES. Synthèse. 20p.
- Ae, MRAe (2018). L'Ae et les MRAe : une communauté d'Autorités environnementales Synthèse annuelle 2018. 76p.
- Agence de l'eau Rhône Méditerranée Corse, Direction régionale de l'environnement, de l'aménagement et du logement Auvergne-Rhône-Alpes, Cerema Centre-est (2017). Guide technique du SDAGE, Vers la ville perméable, Comment désimperméabiliser les sols ?. 62p.
- Agence d'Urbanisme Bordeaux Métropole Aquitaine (2015). L'imperméabilisation des sols urbains et périurbains, Etat des lieux et test d'une méthodologie par télédétection infrarouge. 66p.
- Agence Parisienne du Climat, Météo France (2013). L'îlot de chaleur urbain à Paris – Un microclimat au cœur de la ville. 8p.
- Albizzati, C., Poulhes, M., Parraud, J.S. (2017). Caractérisation des espaces consommés par le bâti en France métropolitaine entre 2005 et 2013. In : Insee. Les acteurs économiques de l'environnement. pp. 73-85
- Aubert, G., Boulaine, J. (1967). La pédologie. Presses Universitaires de France.
- Bacholle, C., Leclerc, B., Coppin, Y. (2005). Utilisation de produits organiques en reconstitution de sol - Inventaire des pratiques en France - Etat de l'art des connaissances liées aux impact de ces pratiques, Synthèse. 6p.
- Baize, D., Girard, M.C. (2009). Référentiel pédologique 2008. Editions Quae. 405p.
- Balvanera, P., Pfaff, A., Viña, A., Frapolli, E., Hussain, S., Merino, L., Minang, P., Nagabhatla, N. (2019). Chapter 2.1 Status and trends – Drivers of change. IPBES Global Assessment on Biodiversity and Ecosystem Services. Unedited draft chapters. 245p.
- Béchet B., Le Bissonnais Y., Ruas A., Aguilera A., André M., Andrieu H., Ay J.-S., Baumont C., Barbe E., Beudet-Vidal L., Belton-Chevallier L., Berthier E., Billet Ph., Bonin O., Cavailhès J., Chancibault K., Cohen M., Coisnon T., Colas R., Cornu S., Cortet J., Dablanc L., Darly S., Delolme C., Fack G., Fromin N., Gadal S., Gauvreau B., Géniaux G., Gilli F., Guelton S., Guérois M., Hedde M., Houet T., Humbertclaude S., Jolivet L., Keller C., Le Berre I., Madec P., Mallet C., Marty P., Mering C., Musy M., Oueslati W., Paty S., Polèse M., Pumain D., Puissant A., Riou S., Rodriguez F., Ruban V., Salanié J., Schwartz C., Sotura A., Thébert M., Thévenin T., Thisse J., Vergnès A., Weber C., Wery C., Desrousseaux M. (2017). Sols artificialisés et processus d'artificialisation des sols, Déterminants, impacts et leviers d'action. INRA (France), 609p.
- Béchet B., Le Bissonnais Y., Ruas A., Aguilera A., Andrieu H., Barbe E., Billet P., Cavailhès J., Cohen M., Cornu S., Dablanc L., Delolme C., Géniaux G., Hedde M., Mering C., Musy M., Polèse M., Weber C., Frémont A., Le Perchec S., Schmitt B., Savini I., Desrousseaux M. (2019). Sols artificialisés : déterminants, impacts et leviers d'action, éditions Quæ, 182 p.
- Bigard, C., Regnery, B., Pioch, S., & Thompson, J.D. (2018). De la théorie à la pratique de la séquence Éviter-Réduire-Compenser (ERC): éviter ou légitimer la perte de biodiversité?. *Développement durable et territoires. Économie, géographie, politique, droit, sociologie*, 9(1).
- Bimby (2020). Qu'est-ce que le concept Bimby ? Disponible sur internet : <https://bimby.fr/2020/06/04/quest-ce-que-le-concept-bimby/>. [Consulté le 31/08/2020]

- Calvet, C., Delbar, V., Chapron, P., Brasebin, M., Perret, J., Moulherat, S. (2020). La biodiversité à l'épreuve des choix d'aménagement : une approche par la modélisation appliquée à la Région Occitanie. Éviter, réduire, compenser : et si l'on s'organisait à l'échelle des territoires ?. Sciences Eaux & Territoires. (31). pp. 24-31
- Capeau, F. (2020). Coordinateur de travaux et sécurité chez CDC Biodiveristé. Entretien le 07/07/2020.
- CBD (2020). Zero draft of the post-2020 global biodiversity framework, 14p.
- Cerema (2014). Indicateurs de consommation d'espaces - Phase 2 : Calcul d'indicateurs nationaux 57p.
- Cerema (2018). Secteurs d'Information sur les Sols – Appui technique du Cerema auprès des services déconcentrés et des collectivités en région. 4p.
- Cerema (2019). L'artificialisation et ses déterminants d'après les Fichiers fonciers. 62p.
- Cerema (2020). Parution des données d'artificialisation 2009-2018. Disponible sur internet : <https://artificialisation.biodiversitetousvivants.fr/parution-des-donnees-dartificialisation-2009-2018>. [Consulté le 31/08/2020]
- CGDD (2013). Lignes directrices nationales sur la séquence éviter, réduire et compenser les impacts sur les milieux naturels. Références. 230p.
- CGDD (2018a). Évaluation environnementale – Guide d'aide à la définition des mesures ERC. Théma. 134p.
- CGDD (2018b). Objectif « zéro artificialisation nette » Éléments de diagnostic. Théma. 4 p.
- CGDD (2019). Le prix des terrains à bâtir en 2018. Théma. 8p.
- Chenu, C. (2016). Les sols : une ressource essentielle. Grignon, AgroParisTech. 33p. [Diffusé en 10/2016]
- Colombano, S., Saada, A., Guerin, V., Bataillard, P., Bellefant, G., Beranger, S., Hube, D., Blanc, C., Zornig, C., Girardeau, I. (2010). Quelles techniques pour quels traitements – Analyse coûts-bénéfices. Rapport final BRGM-RP-58609-FR. 399p.
- Commission européenne (2020). Stratégie de l'UE en faveur de la biodiversité à l'horizon 2030, Ramener la nature dans nos vies. 27p.
- Cormier, T. (2020). Urbaniste à l'Institut Paris Région. Entretien le 03/08/2020.
- Damas, O., Branchu, P., Douay, F., Schwartz, C., Grand, C., Marot, F. (2018). Présomption de pollution d'un sol – Des clés pour comprendre et agir. Plante & Cité, Angers, 36p.
- Decaëns, T., Jiménez, J.J., Gioia, C., Measey, G.J., & Lavelle, P. (2006). The values of soil animals for conservation biology. *European Journal of Soil Biology*, 42, S23-S38.
- Fosse, J., Balaunde, J., Dégremont, M., Grémillet, A., Mesqui, B. (2019). « Zéro artificialisation nette » : quels leviers pour protéger les sols ?, France Stratégie, 109p.
- Fosse, J. (2020). Adjoint à la directrice, France Stratégie. Entretien le 19/08/2020.
- Gass, S. (2020). Directrice de la Fédération nationale de SCoT. Entretien le 31/07/2020.
- Géorisques (2020). BASIAS : Inventaire historique des Sites Industriels et Activités de Services. Disponible sur internet : <https://www.georisques.gouv.fr/articles-risques/basias>. [Consulté le 03/09/2020]
- IAU Île-de-France (2016). Comprendre la consommation des espaces agricoles et naturels, glossaire pédagogique. 39p.
- Ichii, K., Molnár, Z., Obura, D., Purvis, A., Willis, K., Chettri, N., Dulloo, E., Hendry, A., Gabrielyan, B., Gutt, J., Jacob, U., Keskin, E., Niamir, A., Öztürk, B. (2019). Chapter 2.2 Status and trends – Nature. IPBES Global Assessment on Biodiversity and Ecosystem Services. Unedited draft chapters. 170p.
- Insee (2016a). Logement vacant, définition. Disponible sur internet : <https://www.insee.fr/fr/metadonnees/definition/c1059>. [Consulté le 03/09/2020]
- Insee (2016b). Une consommation foncière deux fois plus rapide que l'évolution démographique. Disponible sur internet : <https://www.insee.fr/fr/statistiques/2501732>. [Consulté le 31/08/2020]
- Insee (2017). Les conditions de logement en France. 224p.

- Insee (2018). Les logements vacants progressent plus vite que l'ensemble du parc. Disponible sur internet : <https://www.insee.fr/fr/statistiques/3572856>. [Consulté le 03/09/2020]
- Insee (2019a). Taux de vacance, définition. Disponible sur internet : <https://www.insee.fr/fr/metadonnees/definition/c1590>. [Consulté le 03/09/2020]
- Insee (2019b). 36,6 millions de logements en France au 1^{er} janvier 2019. Disponible sur internet : <https://www.insee.fr/fr/statistiques/4263935>. [Consulté le 31/08/2020]
- Insee (2020). Tableau de l'économie française – édition 2020 – évolution de la population. Disponible sur internet : <https://www.insee.fr/fr/statistiques/4277615?sommaire=4318291#:~:text=Tableaux%20et%20graphiques-,Pr%C3%A9sentation,hausse%20de%200%2C3%20%25>. [Consulté le 31/08/2020]
- IPBES (2018). Glossary: Land use. Disponible sur internet : <https://ipbes.net/glossary/land-use>. [Consulté le 31/08/2020]
- IPBES (2019). Summary for policymakers of the global assessment report on biodiversity and ecosystem services of the Intergovernmental Science-Policy Platform on Biodiversity and Ecosystem Services. S. Díaz, J. Settele, E.S. Brondízio E.S., H.T. Ngo, M. Guèze, J. Agard, A. Arneth, P. Balvanera, K.A. Brauman, S.H.M. Butchart, K.M.A. Chan, L.A. Garibaldi, K. Ichii, J. Liu, S.M. Subramanian, G.F. Midgley, P. Miloslavich, Z. Molnár, D. Obura, A. Pfaff, S. Polasky, A. Purvis, J. Razaque, B. Reyers, R. Roy Chowdhury, Y.J. Shin, I.J. Visseren-Hamakers, K.J. Willis, and C.N. Zayas (eds.). IPBES secretariat, Bonn, Germany. 56p.
- IRSN (2011). Gestion des sites potentiellement pollués par des substances radioactives, IRSN, guide méthodologique, 120p.
- Kraszewski, M. (2019). Évaluation du taux d'artificialisation en France : comparaison des sources Teruti-Lucas et fichiers fonciers. CGDD. 60p.
- Larousse (2020a). Déconstruction – définitions. Disponible sur internet : <https://www.larousse.fr/dictionnaires/francais/d%C3%A9construction/22357>. [Consulté le 05/09/2020]
- LIFTI (2017). De quoi LIFTI est-il le nom ? Etudes foncières – La revue des acteurs du foncier, des territoires et de l'immobilier. 40p.
- Maréchaux, A. (2020). Bâtiments bois et économie circulaire : vision et cas concrets. In : OREE. Club Métier Déconstruction, Éco-construction des bâtiments et des travaux publics en vue de la déconstruction : modularité, réversibilité et démontabilité, 08/07/2020.
- Marié, X. (2020). Directeur de Sol Paysage. Entretien le 25/08/2020.
- Morin, J., Guillot, G., Norwood, J. (2017). Le guide des oiseaux de France, Paris, Belin, 527p.
- MTES (2018). Plan biodiversité. 28p.
- MTES (2020). Pollution des sols : BASOL – Tableaux de bord. Disponible sur internet : <https://basol.developpement-durable.gouv.fr/tableaux/home.htm>. [Consulté le 03/09/2020]
- Muratet, A. (2011). Typologie des friches et rôle dans la connectivité urbaine. Fiches urbaines et biodiversité, Rencontres de Natureparif. 32p.
- Pruvost, C., Mathieu, J., Nunan, N., Gigon, A., Pando, A., Lerch, T. Z., Blouin, M. (2020). Tree growth and macrofauna colonization in Technosols constructed from recycled urban wastes. Ecological Engineering, 153, 105886.
- Ranjard, L. (2020). Directeur de recherche BIOMÉ, BIOCÔM à l'INRAE. Entretien le 25/08/2020.
- République française (2020a). Portail de l'artificialisation des sols, les fichiers fonciers. Disponible sur internet : <https://artificialisation.biodiversitetousvivants.fr/bases-donnees/les-fichiers-fonciers>. [Consulté le 08/09/2020]
- République française (2020b). Portail de l'artificialisation des sols, TERUTI LUCAS. Disponible sur internet : <https://artificialisation.biodiversitetousvivants.fr/bases-donnees/teruti-lucas>. [Consulté le 08/09/2020]

- République française (2020c). Portail de l'artificialisation des sols, Corine Land Cover. Disponible sur internet : <https://artificialisation.biodiversitetousvivants.fr/bases-donnees/corine-land-cover>. [Consulté le 08/09/2020]
- République française (2020d). Légifrance, Code de l'environnement. Disponible sur internet : <https://www.legifrance.gouv.fr/affichCode.do?cidTexte=LEGITEXT000006074220>. [Consulté le 08/09/2020]
- République française (2020e). Légifrance, Code de l'urbanisme. Disponible sur internet : <https://www.legifrance.gouv.fr/affichCode.do?cidTexte=LEGITEXT000006074075>. [Consulté le 08/09/2020]
- République française (2020f). Légifrance, Code général des collectivités territoriales. Disponible sur internet : <https://www.legifrance.gouv.fr/affichCode.do?cidTexte=LEGITEXT000006070633>. [Consulté le 08/09/2020]
- République Française et Cerema (2020). Cartofriche. Disponible sur internet : <https://cartofriches.cerema.fr/cartofriches/> [Consulté le 11/09/20 20]
- Rivet, M. (2020). Chef de l'Agence Centrale chez CDC Biodiversité. Entretien le 29/06/2020.
- Rosset, T. (2020). Concept d'Office Switch Home : réversibilité et enjeux autour de la transformation des immeubles. In : OREE. Club Métier Déconstruction, Éco-construction des bâtiments et des travaux publics en vue de la déconstruction : modularité, réversibilité et démontabilité, 08/07/2020.
- Sainteny, G. (2020). Economiste, Fiscaliste. Entretien le 31/07/2020
- Sanaa, N. (2020). Responsable aménagement du territoire à la Fédération des Parcs naturels régionaux de France. Entretien le 03/08/2020.
- Séré, G. (2007). Fonctionnement et évolution pédogénétiques de Technosols issus d'un procédé de construction de sol. Sciences de la Terre. Institut National Polytechnique de Lorraine. 227p.
- Shwartz, A. (2011). Comparaison de la diversité spécifique entre des friches, espaces non gérés et des jardins, espaces gérés. Friches urbaines et biodiversité, Rencontres de Natureparif. 32p.
- Thomas Y. (2020). Directeur de Microhumus. Entretien le 04/08/2020.
- Triplet, P. (2020). Dictionnaire de la diversité biologique et de la conservation de la nature. Sixième édition. 1216p.
- Weissergerber, M., Roturier, S., Julliard, R., Guillet, F. (2019). Biodiversity offsetting: Certainty of the net loss but uncertainty of the net gain. *Biological Conservation*, 237, 200-208.
- Zucca, M. (2020). Directeur du pôle Protection de la nature à la LPO. Entretien le 31/07/2020.

Table des annexes

Annexe 1 : Liste des entretiens réalisés.....54

ANNEXE 1 : Liste des entretiens réalisés

| Nom Prénom | Organisme | Fonction |
|------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------|
| BENOIT Jean-Christophe | CDC Biodiversité | Directeur du Développement et de l'Investissement |
| BRUA Eric | Fédération des Parc naturels régionaux de France | Directeur |
| BUTLEN Jean-Baptiste | MCTRCT - MTES | Sous-directeur de l'Aménagement Durable |
| CAPEAU Florian | CDC Biodiversité | Coordinateur de travaux et sécurité |
| CHAMPION Audrey | UNPG (Union Nationale des Producteurs de Granulats) | Responsable Environnement et Santé |
| COLSAET Alice | IDDR | Doctorante, Biodiversité et artificialisation |
| CORMIER Thomas | Institut Paris-Région | Urbaniste |
| FOLLIET Caroline | CDC Biodiversité | Cheffe de projets |
| FOSSE Julien | France Stratégie | Directeur adjoint du département développement durable et numérique |
| FREBOURG Fabrice | UNPG (Union Nationale des Producteurs de Granulats) | Président du Pôle Biodiversité |
| GASS Stella | Fédération nationale des SCoT | Directrice |
| JARDINIER Gaëlle | CDC Biodiversité | Cheffe de projets |
| MARIE Xavier | Sol Paysage | Directeur et gérant |
| PERRIDY Ludovic | SCE | Responsable du domaine - Environnement des aménagements |
| RANJARD Lionel | INRAE | Directeur de recherche, UMR Agroécologie |
| RAYNAUD Vincent | Cemex | Directeur régional développement, environnement et foncier, coordinateur RSE |
| REDOULEZ Thomas | UPGE - Union Professionnelle du Génie Écologique | Délégué général |
| RIVET Matthieu | CDC Biodiversité | Chef de l'agence centrale |
| SAINTENY Guillaume | Sciences Po, Université Paris 1, Panthéon-Sorbonne | Economiste, Fiscaliste |
| SANAA Nicolas | Fédération des Parc naturels régionaux de France | Aménagement du territoire |
| THOMAS Yann | Microhumus | Gérant |
| VIDELAINE Isabelle | UNICEM (Union nationale des industries de carrières et matériaux de construction) | Déléguée Développement Durable et Affaires Publiques |
| ZUCCA Maxime | LPO | Directeur du pôle Protection de la nature |

